

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08274573 A**

(43) Date of publication of application: **18.10.96**

(51) Int. Cl

H03H 9/17
H01L 41/09
H01L 41/22
H03H 3/02

(21) Application number: **07071880**

(71) Applicant: **OLYMPUS OPTICAL CO LTD**

(22) Date of filing: **29.03.95**

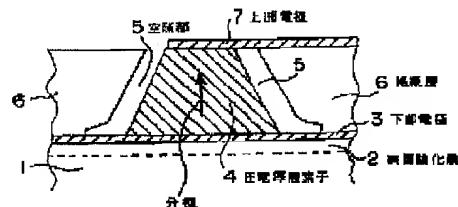
(72) Inventor: **ADACHI HIDEO
IMAHASHI TAKUYA**

(54) **MICRO PIEZOELECTRIC VIBRATOR, ITS
MANUFACTURE AND PIEZOELECTRIC
TRANSDUCER**

(57) Abstract:

PURPOSE: To eliminate step structure and spurious vibration by using longitudinal vibration by arranging an upper electrode integrally with the upper face of a piezoelectric film element and the surface of an insulating layer.

CONSTITUTION: A surface oxide film 2 is formed on the surface of a heat resisting substrate 1, and moreover, a lower electrode 3 consisting of a Pd thin film setting a Ti as a buffer layer is formed on the substrate 1. A piezoelectric thick film element 4 with cross-section of trapezoidal structure and polarized in a direction from an upper face to a lower face or vice versa is arranged on the electrode 3. A cavity part 5 with uniform thickness is formed extending over the entire oblique face of the element 4, and the insulating layer 6 with upper face flush with the one of the thick film is arranged in its periphery. Moreover, the upper electrode 7 made into a pattern so as to cover the entire upper face of the element 4 and to spread over the cavity part 5 is provided. Thereby, piezoelectric film is made by a jet printing method, and since no adhesive layer exists on a boundary with the substrate 1, no spurious vibration occurs, and filming without composition dislocation on piezoelectric fine powder is performed.



COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-274573

(43)公開日 平成8年(1996)10月18日

| (51)Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 序内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|--------------------------|-------|--------|--------------|--------|
| H 03 H 9/17 | | | H 03 H 9/17 | H |
| H 01 L 41/09 | | | 3/02 | C |
| | 41/22 | | H 01 L 41/08 | C |
| H 03 H 3/02 | | | 41/22 | Z |

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全20頁)

(21)出願番号 特願平7-71880

(22)出願日 平成7年(1995)3月29日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 安達 日出夫

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(72)発明者 今橋 拓也

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

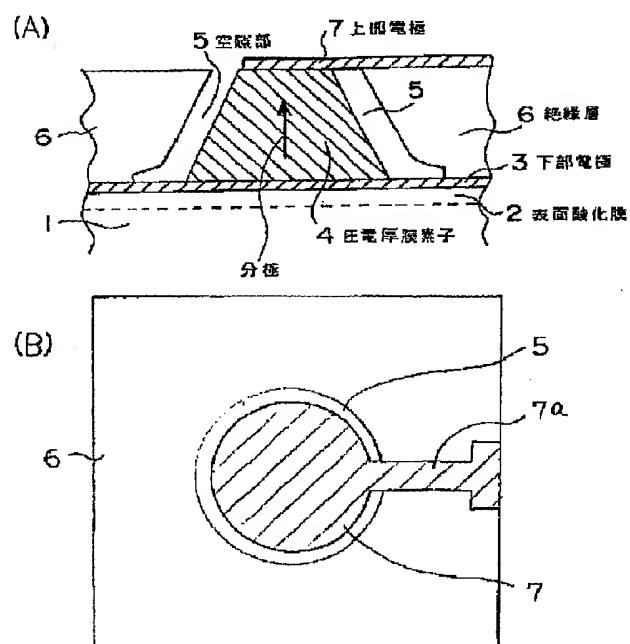
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54)【発明の名称】マイクロ圧電振動子、その製法及び圧電トランスデューサ

(57)【要約】

【目的】本発明は、厚み縦振動を用いた圧電振動子で電極が段差構造を持たず、不要振動がない機械的品質係数Qmを大きくすることを主要な目的とする。

【構成】厚み縦振動の共振特性を用いたマイクロ圧電振動子において、表面に下部電極(3)を施した基板(1)と、前記下部電極(3)上に形成され、その断面形状が台形状で厚み方向に分極処理された圧電厚膜素子(4)と、この圧電厚膜素子(4)の側壁を空隙部(5)を隔てて包囲するように形成するとともに前記基板に対し略平行な面を有して形成された絶縁層(6)と、前記圧電厚膜素子(4)の上面と前記絶縁層(6)の表面に一体的に配設された上部電極(7)を具備したことを特徴とするマイクロ圧電振動子。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 厚み縦振動の共振特性を用いたマイクロ圧電振動子において、表面に下部電極を施した基板と、前記下部電極上に形成され、その断面形状が台形状で厚み方向に分極状態にある圧電厚膜素子と、この圧電厚膜素子の側壁に対し空隙部を隔てて包囲するように形成するとともに前記基板に対し略平行な面を有して形成された絶縁層と、前記圧電厚膜素子の上面と前記絶縁層の表面に一体的に配設された上部電極を具備したことを特徴とするマイクロ圧電振動子。

【請求項2】 ジェットプリントイング法を用いてスポット状に圧電厚膜を形成する工程と、熱処理工程と、犠牲層形成工程と、絶縁層形成工程と、表面平坦化工程と、上部電極形成工程と、分極工程と、上部電極パターン化工程と、犠牲層除去工程とを具備することを特徴としたマイクロ圧電振動子の製造方法。

【請求項3】 請求項1記載のマイクロ圧電振動子と被測定対象物の間に音響的な結合層を有する圧電トランスデューサにおいて、前記音響的な結合層が被対象物に接触する側は被対象物の音響インピーダンスの1.2~3倍の音響インピーダンスを、圧電厚膜素子側に接触する面は圧電厚膜素子の音響インピーダンスとほぼ等しい音響インピーダンスを有し、前記音響的な結合層の機械的品質係数が圧電厚膜素子の機械的品質係数と同じかそれ以上の値を有することを特徴とした圧電トランスデューサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、特に医療用、産業用マイクロマシンに用いられるマイクロ圧電振動子、この製造方法、及び前記マイクロ圧電振動子を利用したマイクロ圧電トランスデューサに関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、医療用、産業用マイクロマシンに用いられる圧電振動子を利用した圧電センサ、トランスデューサの研究が盛んになっている。とりわけ体腔内の診断、治療を目的としたマイクロ触覚センシング技術では体内に挿入するカテーテル、内視鏡の先端部や側胸部に配設し、カテーテル、内視鏡が体内に安全に挿入されるように、これらの体腔内壁への接圧状況を検出したり、患部に到達後患部の体腔内壁組織の硬さ柔らかさを定量的に検出するセンサ、トランスデューサが必要になる。これらのニーズに対し本出願人は圧電振動子、とりわけ圧電厚膜振動子を用いたマイクロ触覚センサを提案している（特願平6-235651）。

【0003】 これは、図20に示されているように、センサ駆動回路をモノリシックに集積したシリコン基板201に下部電極202を施し、その上にジェットプリントイング法で圧電厚膜203を形成し、しかる後上部電極204をパターン成膜したものである。これにより、厚み縦振動

10

20

30

40

40

50

を利用したエネルギー閉じ込め振動子を実現し、この圧電振動子が対象物に接圧した時の共振周波数や共振抵抗の変化を検出し、マイクロ触覚センサとするものである。なお、図中の符号205は絶縁層、206a~206dは基台を固定するための貫通孔、符号207は定電圧膜、符号208は電極（基台に設けた導電性突起をはめ合わせた後、この電極に導通させる）。しかしながら、これらの構造のマイクロ触覚センサを銳意研究開発してきたが、以下に記述するいくつかの新たな技術課題が出現してきた。

【0004】 その第一は信頼性の高い上部電極の形成技術である。前記した先行技術においては上部電極204が段差構造となり部分的に下部電極との距離が小さくなり印加電界がそこに集中し、効率の良い圧電振動が実現できないばかりでなく、電極間短絡をおこし信頼性に悪影響を及ぼすことがあるという問題が明らかになった。

【0005】 第二に、上部電極としてエネルギー閉じ込め電極を用いる為、圧電振動子として利用しない圧電厚膜の領域があり、圧電センサ、トランスデューサ全体としての寸法が大きくなってしまうという問題があった。

【0006】 これに対し、全面上部電極を施して静電容量の増加と前記寸法の問題解決を図るという対策を講じたところ圧電振動子としての機械的品質係数Qmが低減するという第三の新たな問題が発生した。この理由を検討した結果、本来利用すべき厚み縦振動以外に面内拡がり振動や、その高調波が厚み縦振動の共振周波数近傍に重畠していることが原因であることがわかった。

【0007】 以上に記載した技術課題に関する先行技術を以下に記述する。第一の技術課題、即ち上部電極の平坦化に対して先行技術として「平成6年度マイクロマシン技術開発成果発表会予行集」P32~P33がある。これは、基板上にLIGAプロセスの手段で基板まで貫通した孔を複数有したポリイミド樹脂膜の該貫通孔にPZTスラリーを流し込み、ポリイミド樹脂膜の除去とPZTスラリーの固化、焼結を兼ねて熱処理を行いPZT柱列を形成し、次いで樹脂層埋め込み、表面平坦化を行い、全面上部電極を施し、PZT圧電素子と樹脂層との複合圧電素子を形成するというものである。

【0008】 この先行技術はもともとPZT圧電素子と樹脂層との複合圧電素子を形成し、平均的にQmの小さなマイクロな探傷用超音波センサを得ることが目的であり、本発明の目的である大きなQmを実現して高いセンサ感度を得ようという目的とは反するものである。

【0009】 第二の技術課題、即ち圧電センサ、トランスデューサ全体としての寸法が大きくなってしまうという技術課題に関しての先行技術としては特開昭61-46608がある。

【0010】 この先行技術では図21に示した様に恒弾性基板（振動基板）211と圧電薄膜212と振動電極膜213とで形成した圧電振動素子214を有する拡がり振動モードの圧電振動子において、振動基板211の断面形状を

台形にして、振動基板211 の見かけ上の厚さを薄くして容量比や共振周波数と反共振周波数との差といった振動特性を十分良好に向上させるというものである。この様な全面電極を施した圧電振動子の先行技術は多く、また商品化されたものも数多い。

【0011】しかしながら、これらの殆どがこの先行技術と同様拡がり振動モードを利用したものであった。本発明の様に厚み縦振動モードを用いている全面電極を施した圧電振動子の例はランジェバン振動子や、医療や非破壊検査用超音波トランスデューサ等の応用を除いて比較的少ない。その理由は一つに全面電極で理想的な厚み縦振動をさせる為にはボアソン比を介して励起されうる拡がりを振動モードの共振周波数やその高調波が厚み縦振動モードの共振周波数近傍に来ないよう面積／厚み比に特定の配慮が必要である。従って、厚みを大きくとれない時、面寸法を極めて小さくしなくてはならない。この為配線の為の特別な工夫が必要となり、信頼性が低く、コストの高い製品となってしまう。

【0012】以上から全面電極で厚め縦振動モードを利用した例が比較的少く、エネルギー閉じ込め電極が多用される理由になっている。この様に、特にマイクロマシンへの応用では、エネルギー閉じ込め電極を用いないで、これを用いた時と同様の振動特性をえて、且つ圧電振動子の寸法を極力小さくする必要があった。

【0013】又、実際には、上記の様な面積／厚み比条件がとれない場合も多々あるが、この様な場合にもエネルギー閉じ込め電極の場合と同様な振動特性を得る必要がある。

【0014】一方、エネルギー閉じ込め電極を用いないで、不要振動を除去する提案は特公昭60-38893でなされている。ここでは図22 (A), (B)、図23 (A)～(C) に示した様に矩形状圧電板の一対の対向する側面を裏面よりにし、所定の傾度をもって傾斜させて断面台形状とし、この傾斜側面が表面に落とす投射影の部分に一致するように両側端部に一対の電極を設け、この電極を励振電極として、圧電振動子の不要振動を除去した平行電界励振圧電振動子を実現するという提案である。この構造では傾斜面は分極方向の終端部の2面に配置している。

【0015】図22 (A) は従来より周知の平行電界励振厚みすべり振動子の構造例で、符号221 は圧電体、符号222a, 222bは側面電極、矢印はすべり振動に伴う変位成分を示す。図22 (B) は上記公報の発明になる平行電界励振圧電振動子で、図22 (A) の構造に比較して対向する側面が裏面よりに傾斜されていて、側面にあった電極が表面に移されており、かつ表面電極227a, 227bの領域は傾斜側面224a, 224bが表面226 に落す投射影にほぼ一致している。なお、図22 (B) 中の符号223 は矩形状圧電板、符号225 は裏面を示す。

【0016】図23 (A)～(C) は各種振動子の断面図

で、図23 (A) は上記公報の発明の振動子で断面台形状であることを示し、図23 (B) は側面の傾斜効果を説明するために傾斜のない振動子を示し、図23 (C) は従来の振動子を示す。なお、図中の符号231a, 231bは電極下領域、符号232 は無電極下の圧電的に活性な領域を示す。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】

請求項 1, 2

10 以上記述した様に、本発明者らが提案した構造の触覚センサ等に利用できる圧電振動子（特願平6-235651）は電極の段差構造の為、部分的な電界集中が起こり、良好な圧電振動が励起できない場合があり、段差構造のない電極構造が必要であることがわかつてき。

【0018】段差構造のない電極構造に関し、「平成6年度マイクロマシン技術開発成果発表会予行集」P32～P33があるが、この構造ではセンサ感度と強く関係した機械的品質係数Qmが小さくなり十分なセンサ感度が得られなくなるという問題や、圧電振動子が円柱なので厚み振動させてもボアソン比を介して励振される拡がり振動が、面寸法／厚さ比によっては同程度の共振周波数、Qmで励起されるので、目的の厚み縦振動の共振周波数近傍に不要振動があらわれ、目的の振動モードが安定に励起できなくなるという問題が発生する。

【0019】この様な不要振動を除去する方法として、エネルギー閉じ込め電極を用いる方法、面寸法／厚さ比を理想的に設計するという良く知られた方法があるが、マイクロマシン用として圧電振動子を用いる場合、前者の方法ではエネルギー閉じ込め電極が全面電極ではないので電極のない領域分寸法が大きくなってしまう。また、静電容量も小さくなってしまうのでセンサとしてのS/Nが低下する。

【0020】後者の方法では、通常の円柱や角柱の構造では寸法によっては目的としない振動モードが励起され、センサとして安定した動作ができなくなることがある。また、不要振動を励起させない他の方法として前記した特公昭60-38893があるが平行電界励振圧電振動子であり、本発明の様に厚み縦振動を利用した圧電振動子ではない。

【0021】したがって、本発明は厚み縦振動を用いた圧電振動子で電極が段差構造を持たず、不要振動がない機械的品質係数Qmの大きな圧電振動子とその製造方法を提供することを目的とするものである。

【0022】請求項 3

従来の超音波トランスデューサ、特に医療用超音波トランスデューサでは圧電振動子によって励振された超音波エネルギーを効率よく対象物（生体）との間に超音波の授受を行う為、音響整電層を配している。これは整合層としての振幅条件と位相条件を満たす様な材質、形状を用いたもので、一層の整合層であれば、圧電振動子の音

響インピーダンス Z_p 、対象物の音響インピーダンス Z_o とすると、 $(Z_p \cdot Z_o)^{1/2}$ なる音響インピーダンスを持った材質を $1/4$ 波長の厚さにして音響整合層としている。しかし、本発明による用途は、本発明者らが特願平6-235651で提案しているように対象物の表面の機械的特性と、対象物の深さ方向の機械的特性の双方を单一のトランスデューサで検出することである。従って超音波エネルギーの殆どが対象物に入射してしまうと対象物の表面の機械的特性を検出できることになる。そこで圧電振動子によって励起された超音波の一部は対象物に入射し、残りの一部は圧電素子と基板等で構成される振動子にとどまり、それらで構成される振動子の共振周波数と共振インピーダンスが対象物の接圧で大きな感度で変化する技術が必要とされている。

【0023】

【課題を解決するための手段】本願第1の発明は、厚み縦振動の共振特性を用いたマイクロ圧電振動子において、表面に下部電極を施した基板と、前記下部電極上に形成され、その断面形状が台形状で厚み方向に分極状態にある圧電厚膜素子と、この圧電厚膜素子の側壁に対し空隙部を隔てて包囲するように形成するとともに前記基板に対し略平行な面を有して形成された絶縁層と、前記圧電厚膜素子の上面と前記絶縁層の表面に一体的に配設された上部電極を具備したことを特徴とするマイクロ圧電振動子である。

【0024】本願第2の発明は、ジェットプリンティング法を用いてスポット状に圧電厚膜を形成する工程と、熱処理工程と、犠牲層形成工程と、絶縁層形成工程と、表面平坦化工程と、上部電極形成工程と、分極工程と、上部電極パターン化工程と、犠牲層除去工程とを具備することを特徴としたマイクロ圧電振動子の製造方法である。

【0025】本願第3の発明は、前記マイクロ圧電振動子と被測定対象物の間に音響的な結合層を有する圧電トランスデューサにおいて、前記音響的な結合層が被対象物に接触する側は被対象物の音響インピーダンスの1.2~3倍の音響インピーダンスを、圧電厚膜素子側に接触する面は圧電厚膜素子の音響インピーダンスとほぼ等しい音響インピーダンスを有し、前記音響的な結合層の機械的品質係数が圧電厚膜素子の機械的品質係数と同じかそれ以上の値を有することを特徴とした圧電トランスデューサである。

【0026】

【作用】本発明においては、圧電厚膜素子が台形状なので厚み方向の共振振動は上面と下面の間の距離がその距離に対応した周波数で共振する。拡がり振動は台形圧電素子の厚み方向に垂直な断面の断面寸法が全厚さに亘り一定ではないので共振周波数が広く分布し、また、共振の先鋒度(=機械的品質係数Qm)も小さくなるので、相対的に厚み縦振動のみが励起されるとみなせる様

になり、安定した厚み縦振動がおこる。更に、台形圧電振動子と絶縁層の間に台形圧電素子の側壁を包囲するように形成した空洞部が形成されているので、台形圧電振動子の振動がダンピングされることがない。

【0027】

【実施例】

(実施例1) 図1は本発明の実施例1に係るマイクロ圧電振動子の断面図を示す。また、図2~図6はその製造方法を示す。

【0028】図中の1は、表面に表面酸化膜(SiO₂膜)2を形成した耐熱性基板(Si基板)である。この基板1上には、例えばTiをバッファー層としたPd薄膜(Pd/Ti)からなる下部電極3が形成されている。この下部電極3上には、断面が台形構造、例えば円錐台形構造をし、上面から下面、またはその逆方向に分極されている例えばジルコンチタン酸鉛(PZT)からなる圧電厚膜素子4が配設されている。そして、圧電厚膜素子4の斜面全周に亘って厚さの均一な空隙部5が形成され、更にその周囲に圧電厚膜の上面と面一の上面を有する絶縁層6が配置されている。そして、図1(B)に示すように、前記圧電厚膜素子4の上面の全面を覆い、空隙部5を跨ぐようにして前記絶縁層6の上面の一部に亘るようパターン化された上部電極7が設けられている。

【0029】この上部電極7の前記絶縁層6の上面の一部に亘る部分は、電気配線として作用する配線部7aであるが、この配線部7aは、この図1(B)では特定の一方向のみに引き出して設けているが、変形例としては、複数の方向に引き出すように設けててもよい。また、本実施例1の構造で、圧電厚膜素子4の斜面全周に亘って厚さの均一な空隙部5が形成されているとしたが、この空隙部5は必ずしも厚さが均一でなくても圧電素子の斜面と絶縁層の側壁が接触しない程度に隔てられていれば良い。

【0030】次に、本実施例1によるマイクロ圧電振動子の製造方法について図2~図6を用いて説明する。なお、図2は、図3~図6と比べ便宜上縮小してある。まず、表面に500~5000nmの厚さの表面酸化膜2を形成した100面シリコン基板1にスパッター、蒸着、イオンプレーティング等の薄膜形成手段でTiをバッファーとしたPd/Ti2層電極(下部電極)3を形成し、必要に応じてイオンミリング等の手段でパターン化する。次いでこれを500℃~800℃で熱処理を施し、電極の基板に対する密着性の向上とその他の諸工程に対する化学的安定化を図る。次に、下記に詳述する図7に示したジェットプリンティングシステム装置を用い、PZT材料からなるスポット状圧電厚膜21を50μm程度の厚さになる様に成膜する。

【0031】ここで、図7のジェットプリンティングシステム装置及びジェットプリンティング法の成膜原理に

ついて記述する。図中の符号71は成膜室であり、その内部に基板72を載置する基板加熱装置73が配置されている。この基板加熱装置73には基板加熱用電源74が接続されている。前記成膜室71には真空ポンプ75が連通されている。前記基板72の上方にはノズル76が配置され、このノズル76には超微粒子搬送管77の一端が連通されている。この搬送管77の他端は、平均粒径が0.2 μm程度のP Z T超微粒子78を容れた超微粒子攪拌容器（エアロゾル化室）79に連通されている。この攪拌容器79には、バルブ80aを介装したガス搬送管80が連通されている。この搬送管80には純エアー等のキャリアガスが導入される。

【0032】P Z T超微粉末77を容れたエアロゾル化室79にガス搬送管80を経て純エアーを導入し、P Z T超微粉末78を飛散浮揚させる。飛散浮揚した超微粉末78は成膜室71とエアロゾル化室79との差圧とノズル形状に対応した速度で超微粉末搬送管77内を高速で移動し、該搬送管77に直結し、その出射孔が基板方向に対面したノズル76から基板72に対しジェット噴射される。基板72にはノズル76の出射孔形状に対応した形状で成膜される。

【0033】本実施例1では出射孔形成が0.3 mmφのノズルを用いた。この方法は、成膜速度が速い、成膜組成は粉末組成からずれる事がない、完全な乾式成膜で汚染の心配がない、ノズルの出射孔形状のままの形状で成膜されパターン形状の厚膜がエッティングなしで得られる、等という従来の成膜法にない特徴を持つ。次いで、基板との密着性、微粒子間結合力、結晶性の改良を目的として500°C～800°Cの温度、空気又は酸素雰囲気中で熱処理する（図2参照）。この段階で圧電スポット膜21の形状は、図2に示したようなドーム状になっている。なお、このドーム状の圧電スポット膜21は高さ～50 μmで、1/2高さでの径は100 μmである。

【0034】次に、基板1上にスポット状に形成した前記圧電スポット膜21に空隙部（図6参照）形成の為の領域を確保するため、800°C前後で溶融するパラフィン系樹脂を溶融させた状態で滴下し、前記圧電スポット膜21の斜面を流れ落ちる様にし、皮膜状第1犠牲層22を自然放冷硬化形成する。更に常温硬化性樹脂または光硬化樹脂をスピンドルコート、滴下法等で塗布、常温硬化または光硬化させ絶縁層23を形成する（図3参照）。

【0035】次に、機械研磨や高精密研削で表面平坦化し、圧電スポット膜21の上面、第1犠牲層22の上面及び絶縁層23の上面が面一になるようにし、圧電スポット膜21の上面が露出するようにする（図4参照）。

【0036】次に、金、銀、ニッケル、アルミニウム等からなる上部電極兼分極電極24をスパッタ、真空蒸着等の手段で全面に形成する。そして、下部電極3と上部電極兼分極電極24との間に直流5kV程度の電圧を印加し分極処理して圧電スポット膜21を圧電活性状態とする（図5参照）。

【0037】次に、エッティングレジスト兼二層目の上部電極として白金をパターン状に上部電極兼分極電極6の上にスパッタやイオンプレーティング等の手段で成膜し、その後王水や硝酸を用いて上部電極兼分極電極6の白金膜が賦与されていない部分をパターン状にエッティングし、パターン化電極25を形成する。つづいて、第一犠牲層22を100°C以上で加熱溶融除去し、空隙部26を形成する（図6参照）。

【0038】次に、この実施例の作用を図1を用いて説明する。以上述べた様な工程によって図1の様なマイクロ圧電振動子が実現できる。この構造の特徴は圧電厚膜がジェットプリントイング法という成膜方法を用いて形成したので基板との境界に接着層を介在しない。従って接着の場合の様な不要振動が発生しない。またこの成膜に用いる圧電体微粉末に対して組成ずれをせずに成膜できる。圧電体として最も一般的で圧電効果の大きいP Z Tは複合酸化物で通常は経時変化や温度特性の改良、更にセンサとしての感度に大きな影響を及ぼす機械的品質係数Q mの増大等の圧電特性の改良を目的に微量添加物を混入させた組成を用いている。本実施例による成膜方法では厚膜の状態でも複雑な組成を確実に実現できるので、他の成膜方法による場合より経時変化や温度特性に優れた圧電振動子が得られる。また、本実施例の成膜法に用いるノズルの噴射孔を0.3 mmφとすると成膜時間10分程度で図2に示す様な高さ50 μm、半値幅径100～200 μmのドーム状圧電スポット膜3が得られる。これを熱処理することによって分極によって圧電活性となりうる材質となる。そして前述した後続の工程によって得られる圧電振動子の特徴は第一に円錐台形をし、台形の底面に垂直な方向に分極処理された圧電厚膜素子4であり、第二にその周囲に配設した空隙部5、第三に圧電厚膜素子4の上面と絶縁層6の上面が面一となり、圧電素子上面全面と絶縁層の特定の領域に亘って一体的に段差なく配設されたパターン化上部電極7で構成されているということである。

【0039】第一の構成により圧電振動子は断面が台形なので特定の同一径の直径を持たない。その為、厚さと直径の両寸法が近接してても直径寸法に対応した共振周波数で共振する厚み拡がり振動の勢力が円柱状に比べ極めて小さく、従って、目的とした厚み縦振動のみが高い振動効率即ち高いQ mをもつことができる様になる。このことは例えば圧電振動子を回路要素とした自励発振回路を構成し圧電振動子の共振周波数や共振インピーダンスの変化をこの自励発振回路の出力周波数や出力振幅の変化に置き換えて圧電振動子の負荷の機械的特性を検出するセンサを構成した場合、振動モードとび現象が起こらなくなり安定したセンサ動作を期待できることになる。振動モードとび現象とは自励発振が共振抵抗の低い方の振動モードで起り易いというもので、例えば、圧電振動子に検出対象物を接触しその機械的特性を検知し

ようとする場合、その接触動作で圧電振動子のそれまで使用していた振動モードの共振抵抗が増加する。そうするとたまたま僅かに共振抵抗が高く自励発振しなかった振動モードの共振抵抗の方が相対的に低くなってしまい新たな振動モードで発振するということになり、振動の変位方向が急に変化したり発振周波数が急変するということが起こる。この様なことはセンサの信頼性を著しく低下させるものであり、振動モードとび現象は完全に抑圧しなくてはならない現象である。本実施例の第一の構成にすることによりこの課題が解決されることは明らかであり、マイクロマシンへの応用の様に寸法が極めて小さくなってくるとこの構成の効果が益々顕著になるということは容易に推測できることである。さらに第一の構成によって上下両電極端部間の最短距離が両電極間の厚さより大きくなるので繊面放電を起こしにくくなり信頼性の向上がはかるという付加的な効果も得られる。

【0040】次に第二の構成即ち空隙部の存在は、その周囲に配した絶縁層と完全な非接触状態を実現させ、圧電振動子のQmを高い状態に保つ事ができ高感度の圧電振動子センサが実現できる。更に厚み縦振動からポアソン比を介して励振される厚み拡がり振動は前記したように共振先鋒度Qmが無視できる程い小さいが皆無になるわけではない。

【0041】従って、もし絶縁層が圧電振動子の側壁に接触でもしていると振動が絶縁層に漏れて行ったり、厚み拡がり振動に対する機械的負荷だったものが、ポアソン比を介して厚み縦振動の負荷になり肝心な厚み縦振動を利用したセンシングに対するノイズになってしまう。また、図1に示した単独の圧電振動子を以下の実施例に示す様に多数配列させたアレイ型圧電振動子を構成した時、振動の絶縁層への漏れは隣接した他の圧電振動子へ影響を与え、素子間クロストーク特性を著しく悪化されることになり、センサとしての横方向分解能の悪化を来す。本実施例ではこの第二の構成を実施することによりセンサとしての横方向分解能の悪化に煩わされることなくなる。

【0042】また、第三の構成、即ち、段差のないパターン化上部電極は上下部電極間の局部的偏りがないので分極時に電界集中が起こらない。更に、駆動電界の電界集中も起こらないので均一な分極分布を均一な駆動電界で圧電駆動ができる、不要振動のない高効率の振動が励起できる。これによって信頼性の高い圧電振動子動作を実現することができるようになる。また、この第三の構成においては、パターン化上部電極は圧電素子上面全面に賦与されているので、エネルギー閉じ込め電極に比べ大面積とすることができます。これによって、圧電振動子の静電容量は比較的大きくでき、センサに応用した時のS/Nの向上につながる。更には、エネルギー閉じ込め電極の場合の静電容量の程度で十分の時はエネルギー閉じ込め電極以外の領域を必要としないので、圧電振動子全

体の寸法を小さくできる。

【0043】以上の様に、特徴ある3つの構成を含むことにより、不要振動や振動モード飛び、電界集中による不均一圧電動作などが起こらず、振動効率Qmの大きな厚み縦振動を高い信頼性が実現でき、高感度なマイクロ圧電センサやマイクロ圧電トランスデューサに応用できる様になる。またアレイ化によって対象物の機械的特性の線状分布や面分布を高い分解能で検出できるようになる。

【0044】なお、この実施例の各構成は、当然、各種の変形、変更が可能である。例えば、耐熱性基板は必ずしもシリコンでなくてもよく、例えばアルミナやMgOの様なものでも耐熱性のある基板であればよい。また、下部電極も必ずしもPd/Tiに限定するものではなく、Pt/Ti、Ag/Cu、Ir/TiやAu/Crの様な密着性の高い金属膜でもよいし、密着性さえ補償されれば焼き付け銀や焼き付け白金等の単層膜であっても構わない。更に、圧電厚膜の材質も必ずしもPZTでなくても良く、例えばビスマス層状構造ペロブスカイト構造やタンゲステンブロンズ構造の圧電物質でも構わない。更には、上部電極のパターン化は白金電極をマスクにしてエッチングするという方法に限定するものではなく、通常のフォトリソ法やイオンミリング法でも構わない。また、圧電厚膜の形状は必ずしも円錐台形に限定されるものではなく角錐台形、楕円錐台形であっても構わない。

【0045】次に、実施例1の変形例について図8(A)～(C)を用いて説明する。この変形例は錐台形構造の圧電厚膜の上面から見た構造が楕円形(図8(B)参照)、角形(図8(C)参照)である点が異なる。一般に厚み拡がり振動の電気機械結合係数は円形に比べ、楕円や角形の方が小さい。円形でも台錐形にすることによって厚み拡がり振動の発生効率がかなり低下するが、円形という対称性の良好な形状が一部にでもあればその比率で僅かに厚み拡がり振動が励起されてしまう。これに対し、この変形例の様に円形に比べ対称性の悪い楕円形や角形にすることにより、その面での局部的拡がり振動も起りにくくなる。以上の様に本変形例によって更に振動が厚み縦振動に集中し振動効率が向上する。

【0046】(実施例2)本発明の実施例2を図9とその製造方法について図10(A)～(C)を用いて説明する。なお、図1～図6と同部材は同符号を付して説明を省略する。

【0047】本実施例2は実施例1の構造(図1)のマイクロ圧電振動子の上面のうち圧電膜厚素子上面部を中心に例えばポリウレタンやシリコーン樹脂やエポキシ樹脂からなる受圧部91を配設した構造のマイクロ圧電センサである。なお、図9において、符号92は第2空隙部、符号93は閉じた微細孔を示す。

【0048】以下に、本実施例2の構造のマイクロ圧電センサの製造方法について図10(A)～(C)を用いて説明する。実施例1によるマイクロ圧電振動子(図1)の圧電厚膜素子4の上面円周に沿って実施例1と同様80℃程度で溶融する樹脂材料を溶融させた状態でマイクロディスペンサ等を用いて圧電厚膜素子4の上面円周に沿って縁取りするように塗布し、自然放冷硬化させ第2犠牲層94を形成する(図10(A)参照)。第2犠牲層用溶融樹脂は、塗布直後から硬化するので空隙部の奥まで侵入することはなかった。次に前記第2犠牲層94が完全に被覆され、かつ、空隙部上の第2犠牲層被覆部の厚みが厚すぎない程度に圧電素子上面部を中心にはり付けて、シリコーン、エポキシ樹脂等をスポット状に塗布し、室温または50℃程度で半硬化させ、受圧部91を形成する(図10(B)参照)。そして、この半硬化状態の受圧部91の周縁部の数カ所に針で微細孔93をあけ、最後に100℃～150℃の温度に加熱し第2犠牲層94を前記微細孔93を通して飛散させる。この時、同時に半硬化状態だった受圧部樹脂は完全に硬化し化学的に安定した状態となる(図10(C)参照)。この様な構成にしたことによる作用を以下に記述する。

【0049】実施例1の構造(図1)でも検知対象物の方が比較的柔らかい凸形状をしていれば問題ないが、対象物が比較的固く平面状か凹面形状をしている時、圧電振動子の振動端が被対象物に正常に接しないことが起こり、正確な検知ができない場合がある。そこで本実施例2では図9や図10に示した様な凸状受圧部を配設し、対象物に対し常に正常な接触状態を実現させるというものである。なお、第二犠牲層94を飛散させ第2空隙部92を設けた理由は、第一に受圧部91の周縁部を絶縁層上に設け受圧部91に対する対象物からのこすり摩擦力によるはがれや変形に対する抵抗力を備えつけることであり、第二に圧電厚膜素子上の受圧部91と絶縁層上の受圧部91が音響的な結合を弱め圧電振動子のQmの低下を防ぐためであり、第三に対象物やその近傍に存在する体液等の汚染物質が空隙部5に侵入することを防ぐ為である。

【0050】第三の効果は以下の様な理由による。第2犠牲層物質は加熱によってあらかじめ半硬化状態の受圧部91に設けた微細孔93を通り孔の外に抜け出るが、最後に抜け出ようとする物質はそれ以上空隙部にガス圧が残っていないので微細孔93から抜け出すことができず微細孔93に停留した状態で微細孔93を塞ぐようにして固化する。本実施例2は以上の様な効果を発揮できるので生体等を対象物とした機械的特性の検出に対し、感度が高く、耐薬品性の良好なマイクロ圧電センサが得られる。

【0051】次に、本実施例2の変形例を図11に示して説明する。本変形例は受圧部111が圧電厚膜素子4に接合した弾性部材112を介して配設されている。なお、図中の符号113は受圧部111に設けた微細孔、符号114は第2空隙部を示す。かかる構成のマイクロ圧電センサ

は図12(A)～(C)のようにして製造する。

【0052】即ち、まず、例えばアルミナやジルコニアのセラミクスまたはマコールの様な結晶化ガラスを微細に加工し、これを接着等の手段で接合し、弾性部材112をパターン化された上部電極7上の所定の位置に形成する(図12(A)参照)。次いで、弾性部材112の下外周部にマイクロディスペンサで低融点樹脂からなる第2犠牲層94を塗布した後、受圧部となるポリウレタン、シリコーン、エポキシ樹脂等からなる半硬化樹脂膜115を形成する(図12(B)参照)。更に、加熱して第2犠牲層94を飛散除去すると共に半硬化樹脂膜115を完全硬化させ受圧部111を得る(図12(C)参照)。

【0053】この様な構成にすることにより、受圧部111に占める振動効率Qmの良好な物質の体積比が大きくなり、受圧部111全体が樹脂の場合より圧電振動子全体のQmが大きくなり、センサとして用いた時の感度が向上する。また、受圧部111の構造が一定となるので、構造、寸法の再現性に富むものになり、それに伴って圧電振動子特性も再現性が増すので動作回路との整合性が良好になる。

【0054】(実施例3)本発明による実施例3を図13(A)～(D)を用いて説明する。ここで、図13(A)は本発明による直線状アレイ型マイクロ圧電トランジスタの上面図、図13(B)は図13(A)の単位圧電振動子Pの部分の拡大上面図、図13(C)は図13(B)の単位圧電振動子130のX-X線に沿う断面図、図13(D)は図13(B)のY-Y線に沿う断面図である。ここで、単位圧電振動子130は、基板上に多数直線状に配列されている。

【0055】図中の符号131は、表面に表面酸化膜132を形成したSi基板である。この基板131上には、例えばPd/Tiからなる二層下部ストライプ電極(下部電極)133が形成されている。この下部電極133上には、断面が台形構造、例えば円錐台形構造をし、上面から下面、またはその逆方向に分極されている例えばジルコンチタン酸鉛(PZT)からなる圧電厚膜素子134が配設されている。そして、圧電厚膜素子134の斜面全周に亘って厚さの均一な空隙部135が形成され、更にその周囲に圧電厚膜の上面と面一の上面を有する絶縁層136が配置されている。前記、圧電厚膜素子134の上面の全面と絶縁層136の上面の一部に亘って、空隙部135を跨ぐ様に一体的に電気配線として作用するパターン化した上部電極137が配設されている。ここで、上部電極137は共通接地電極138によって導通され全ての単位圧電振動子130が接地される。また、前記下部電極133の長さ方向の端部には、例えば金、銀、白金、パラジウムの様な熱に対し安定した金属をジェットプリンティング法で突起状に成膜し、高さが50μm程度の下部電極突起139が形成されている。なお、図中の符号140は下部電極突起被膜電極を示す。

【0056】上記構成の直線状アレイ型マイクロ圧電トランസデューサは、次のようにして製造する。まず、表面酸化膜132を形成したS i基板131上に下部電極133を形成する。次に、前記下部電極133の長さ方向の端部には、例えば金、銀、白金、パラジウムの様な熱に対し安定した金属をジェットプリンティング法で突起状に成膜し、高さが $50\mu m$ 程度の下部電極突起139の原形を形成する。つづいて、この下部電極突起139の原形の近傍を避けた下部電極133の上にジェットプリンティング法でP Z Tからなる圧電厚膜素子134の原形を形成する。ジェットプリンティング法に用いるノズルは、その微粉末噴射孔の形状がスリット状で例えば長さ3mm、幅0.15mmの寸法をしたもののが好ましい。

【0057】このノズルで形成した直後の厚膜はその半値幅が0.12mm、高さ $50\mu m$ 、長さ約3mmの尾根状をしており上面がない。次に、 $500^{\circ}C \sim 800^{\circ}C$ で熱処理しP Z T膜の基板に対する密着性、粒子間結合力、結晶性を改質させる。そして、この熱処理後の尾根状圧電素子原形の上にマイクロディスペンサを用いて溶融犠牲層材を塗布する。溶融犠牲層材は尾根の頂上から尾根の斜面に沿って流れ落ちる。そして自然冷却によって硬化し、 $10\mu m$ 程度の膜厚の犠牲層が形成する。

【0058】次に、絶縁層になる樹脂材料、例えばエポキシ、ウレタン、フェノール系等の樹脂液を、基板131から平均で $50\mu m \sim 80\mu m$ の高さになるように全ての尾根状圧電素子原形と下部電極突起139の原形に亘って一様に塗布コーティングする。なお、本実施例3の様に、最終的な圧電厚膜素子134の厚さ、下部電極突起139の高さ、絶縁層136の厚さを、いずれも $40\mu m$ 程度を目標とする時、前記樹脂膜はその最小膜厚が $45\mu m$ 程度となる凹凸状態であっても良いことはいうまでもない。

【0059】次に、絶縁層原形を室温または光で硬化させ、研磨し全面を $40\mu m$ 程度の厚さに平坦化し、かかる後、図13(B)に示した様に研磨によって露出した圧電厚膜素子138と下部電極突起139のそれぞれに下部電極突起被膜電極140を帶状に連通した金属膜と、圧電素子とそれらが挟む絶縁層、犠牲層表面に亘って帶状に金属膜を隔てて配設し、両帶状金属膜間に $4kV/mm$ 程度の直流電圧を印加し分極し圧電厚膜素子138を圧電活性な状態とする。そして、上部電極137、下部電極突起被膜電極140、及び上部電極137を全て共通接地電位とするための共通接地電極136を通常のフォトリソ工程を用いて形成する。最後に、犠牲層樹脂の溶融温度以上、例えば $100^{\circ}C \sim 150^{\circ}C$ に加熱し、犠牲層樹脂を完全に飛散除去し、空隙部135を形成する。以上の様な製法で製造した図12(A)に示す構造の直線状圧電振動子アレイ141は、以下の様な作用及び効果を持つ。

【0060】即ち、圧電振動子の断面形状が台形だし、その周囲に空隙があるので圧電振動子間クロストークが

極めて小さくなる。また、圧電厚膜素子の製法としてダイシングの場合のような切削残留歪みやマイクロラックを一切持っていないので、単独の圧電振動子の経時変化が少くなり信頼性が非常に良くなる。これらの各単独の圧電振動子が直線上に配列しており、この直線状圧電振動子アレイを対象物に接触すると、線状に並んだ圧電振動子の各々の振動周波数と共振抵抗は各単独の圧電振動子が接触した対象物の各部の対象物の弾性的特性に応じた値を持ち、これらの値の違いにより対象物の機械的特性例えば弹性率や粘性率の線方向分布がわかる事になる。圧電振動子の各々の共振周波数と共振抵抗は各圧電振動子が台形をしているし、各圧電振動子間が空隙層によって音響的に隔離されているので圧電振動子間クロストークが極めて小さく、その為直線方向の分解能が大きくなり、特に対象物の微小直線領域における直線方向機械特性分布を高分解能で検出できることになる。またこれを圧電振動子の配列方向に対し垂直方向に走査することによって面情報が得られる様になる。

【0061】次に、本実施例3の変形例について図14を用いて説明する。但し、図13と同部材は同符号を付して説明を省略する。本変形例の基本構造は実施例3と全く同じであるが、圧電振動子の上面部に受圧部兼音響整合層145が付設されているところが異なる。図14は実施例3(図13(D))の単独の圧電振動子の断面図と対比した図である。両側の斜面に、第一空隙部146を配した台形状の圧電厚膜素子134に、第二空隙部147を有した例えばエポキシ樹脂等の様な対象物の音響インピーダンスと圧電素子の音響インピーダンスの相乗平均に近い音響インピーダンスを有する受圧部兼音響整合層145が圧電振動子上面部、絶縁層136、下部電極突起被覆電極(図示していない)、に亘って特定の厚さ、即ち4分の1波長の厚さで配設されている。この様な構成により、対象物が生体の様に音響インピーダンスが圧電厚膜素子と異なる場合でも対象物の断層像を検出するアレイ型マイクロ圧電トランസデューサを実現する事ができる様になる。

【0062】(実施例4) 本発明による実施例4を、図15(A)～(D)を用いて説明する。ここで、図15(A)は本実施例4による円筒外周面に沿ったアレイ型マイクロ圧電トラン斯デューサの側面図、図15(B)は単独の圧電振動子の上面図、図15(C)は図15(B)のX-X線に沿う断面図、図15(D)は図15(B)のY-Y線に沿う断面図である。

【0063】図中の符号151は、例えば快削性セラミックス、マコールからなる外径5mm、長さ5mmの円筒状絶縁基板(円筒基板)である。この円筒基板151上には、下部電極152として幅 $80\mu m$ 、長さ5mm、厚さ $10\mu m$ の金ストライプ電極が $120\mu m$ の間隔でジェットプリンティング法で形成されている。この下部電極152上には、断面が台形構造、例えば円錐台形構造をし、上面

から下面、またはその逆方向に分極されている例えばジルコンチタン酸鉛（P Z T）からなる圧電厚膜素子153 が配設されている。そして、圧電厚膜素子153 の斜面全周に亘って厚さの均一な空隙部154 が形成され、更にその周囲に圧電厚膜の上面と面一の上面を有する絶縁層155 が配置されている。前記、圧電厚膜素子153 の上面の全面と絶縁層155 の上面の一部に亘って、空隙部154 を跨ぐ様に一体的に電気配線として作用するパターン化した上部電極156 が配設されている。ここで、上部電極156 は共通接地電極157 によって導通され全ての単位圧電振動子158 の上部電極が接地される。また、前記下部電極152 の長さ方向の端部には、例えば金、銀、白金、パラジウムの様な熱に対し安定した金属をジェットプリンティング法で突起状に成膜し、高さが $50 \mu\text{m}$ 程度の下部電極突起159 が形成されている。なお、図中の符号160 は下部電極突起被膜電極、符号161 は接地側配線、符号162 は駆動信号入出力配線、符号163 は配線被覆コードを示す。

【0064】こうした構成のアレイ型マイクロ圧電トランジスデューサは次のようにして製造する。まず、円筒基板151 上に、下部電極152 として幅 $80 \mu\text{m}$ 、長さ 5mm 、厚さ $10 \mu\text{m}$ の金ストライプ電極が $120 \mu\text{m}$ の間隔でジェットプリンティング法で形成する。この形成方法は以下の通りである。前記円筒基板151 を円筒外周長で $120 \mu\text{m}$ ずつ回転させ、噴射孔寸法が幅 $90 \mu\text{m}$ 、長さ 5mm のノズルを用いて金超微粉末を用いてジェットプリンティング成膜する。この各ストライプ状電極の端部には下部電極突起159 が膜厚方向に形成されているが、この下部電極突起159 の形成方法は実施例3と同じであるのでここでは略す。

【0065】次に、前記ストライプ状で断面が台形のP Z Tからなる圧電厚膜素子154 を形成する。つまり、噴射孔の形状が幅 $100 \mu\text{m}$ 、長さ 5mm のノズルを用いてP Z T微粉末を用いてジェットプリンティング成膜する。このノズルで形成した直後の厚膜はその半幅が $100 \mu\text{m}$ 、高さ $50 \mu\text{m}$ 、長さ約 5mm の尾根状をしており上面がない。次いで、 $500^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ で熱処理しP Z T膜の基板に対する密着性、粒子間結合力、結晶性を改質させる。そして、この熱処理後の尾根状で圧電厚膜素子154 の原形（図示せず）の上にマイクロディスペンサを用いて溶融犠牲層材を塗布する。溶融犠牲層材は尾根の頂上から尾根の斜面に沿って流れ落ちる。そして自然冷却によって硬化し、 $10 \mu\text{m}$ 程度の膜厚の犠牲層が形成する。次に絶縁層になる樹脂材料、例えばエポキシ、ウレタン、フェノール系等の樹脂液を円筒基板151 表面から平均で $50 \mu\text{m} \sim 80 \mu\text{m}$ の高さになるように全ての尾根状圧電素子原形と下部電極突起159 の原形に亘って一様にディップ塗布コーティングする。

【0066】次に、絶縁層原形を室温または光で硬化させ、外周研磨し全面を $40 \mu\text{m}$ 程度の厚さに平坦化し、

しかる後、研磨によって露出した圧電厚膜素子153 と下部電極突起159 のそれぞれに下部電極突起被膜電極160 を帯状に連通した金属膜と、圧電厚膜素子とそれらが挟む絶縁層、犠牲層表面に亘って帯状に金属膜を、互いに隔てて配置するように配設し、両帶状金属膜間に 4kV/mm 程度の直流電圧を印加し、分極し圧電厚膜素子153 を圧電活性な状態とする。そして、上部電極156、下部電極突起被膜電極160、及び上部電極156 を全て共通接地電位とするための共通接地電極157 を曲面フォトリソ工程を用いて形成する。最後に、犠牲層樹脂の溶融温度以上、例えば $100^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ に加熱し、犠牲層樹脂を完全に飛散除去し、空隙部35を形成する。最後に駆動信号入出力用配線162 と接地側配線161 をワイヤボンディングしてとりつける。

【0067】以上の様な製法で製造した円筒外周面配列型アレイ状マイクロ圧電振動子アレイの動作について、図16を用いて説明する。本実施例寸法での実際の単位圧電振動子数は128個であるが、本モデル図では64個にしてあり、同時に8個ずつ同時に駆動している。なおかつ同時に駆動する8個の間には正確には少しずつ駆動時間がずれていて、8個の単位圧電振動子数からそれぞれ放射される振動波（超音波）の波頭は図16の様に円になっている。従って、これら波頭は合成されて焦点に向かう収束振動波となる、いわゆるフェーズドアレイ振動子となっている。この8個の一つのグループとして単位圧電振動子一つ分ずつずらして順に周回走査させていけば、いわゆるメカニカルセクタ走査と同等の振動波（超音波）ビーム走査機能を発揮できる。しかも電子スキャンなのでメカニカルセクタ走査の様な回転ムラの心配は全くないので高分解能のロータリーエンコーダを必要とせず、しかも360度どの方向にも、遮蔽されている圧電振動子がないので隨時希望の方向の超音波像が得られる。

【0068】次に本実施例の変形例について図17を用いて説明する。本変形例は単位圧電振動子が円筒外周面に沿って配列している点では実施例4と同じであるが、この円筒外周面が円筒軸に対し湾曲した曲面になっているところが異なる点であり、基板として円筒外周面が円筒軸に対し湾曲して曲面になっている絶縁性基板を用いることと絶縁層樹脂硬化後の表面平坦化が外周曲研磨による点が異なり、あとは実施例4と同じである。この変形例では超音波ビームをこの曲面により円筒軸方向に収束させ更に横方向の分解能を向上できる効果を有す。

【0069】なお、更に他の変形例として実施例3の変形例（図14）と同様に音響整合層を付設する構成も当然想起されるものであり、同一の作用、効果が得られることはいうまでもない。

【0070】（実施例5）本発明による実施例5を図18（A）、（B）を用いて説明する。ここで、図18（A）は上面図、図18（B）は図18のX-X線に沿う断

面図である。

【0071】図中の181は表面に表面酸化膜182が形成されたS i基板である。この基板181上には、デコーダ183, 184等の回路がモノリシックに集積されている。前記基板181上には、端部がデコーダ184に接続されるパラジウム等の金属薄膜からなる下部ストライプ電極(下部電極)185を形成している。この下部電極185上には、圧電厚膜素子186が形成されている。この圧電厚膜素子186の斜面全周に亘って厚さの均一な空隙部187が形成され、その周囲の圧電厚膜素子186の上面と面一の上面を有する絶縁層188が形成されている。前記圧電厚膜素子186の上面の全面と絶縁層188の上面の一部に亘って、空隙部187を跨ぐように一体的に電気配線として作用するパターン化した上部電極189が形成されている。

【0072】こうした構成の圧電振動子二次元アレイは次のようにして製造される。まず、表面酸化膜182を形成した基板181上にデコーダ183, 184等の回路をモノリシックに集積し、下部電極185を形成し、その上にジエットプリント法で、底円の直径 $120\mu\text{m}\phi$ 、高さ $50\sim100\mu\text{m}$ の円錐状の反強誘電体例えればジルコン酸鉛スポット膜を形成する。噴射孔径 $150\mu\text{m}\phi$ ノズルを用いて、圧電体微粉末をジエットプリントする。これを $500^{\circ}\text{C}\sim800^{\circ}\text{C}$ で熱処理し、圧電体と基板との密着性、圧電体粒子間結合力及び結晶性の向上を図る。ついでマイクロディスペンサで融点が 80°C 前後のパラフィン系樹脂で円錐状の圧電体スポット膜上に滴下塗布する。

【0073】この時、円錐状のP Z Tスポット膜を基板毎に $40\sim60^{\circ}\text{C}$ に加熱しておくことが好ましい。この上に全面にエポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂液を被覆し、室温硬化させる。硬化後、研磨によって全面平坦化し、しかる後通常のフォトリソ工程を用いてその端部がデコーダ回路183に接続され、かつ研磨によって露出した圧電厚膜素子186の上面部全てにかかる様にまず全面電極を形成する。そしてこの上部全面電極と各下部電極185との間に直流電圧を印加して全圧電厚膜素子186を分極し、圧電活性とする。しかる後通常のフォトリソ工程を用いて上部全面電極をストライプ上の上部電極189とする。そして、最後に $100^{\circ}\text{C}\sim140^{\circ}\text{C}$ に加熱して犠牲層を飛散除去し空隙層187を形成する。

【0074】この様にして構成された単純マトリクス構成の圧電振動子二次元アレイの動作を以下に記述する。デコーダ184によって下部電極185の内一本例えれば図11のaを選択する。同様にデコーダ183によって上部電極189の内一本例えれば図11のbを選択する。そして、選択したストライプ電極の一方には駆動電圧の $1/2$ のパルス電圧、又、他方のストライプ電極に $-1/2$ のパルス電圧を印加し両ストライプ電極の交差した圧電振動子cに丁度駆動電圧に等しいパルス電圧が加わる様にする。

これによって圧電振動子cは共振振動し、超音波を対象物に放射する。そして、対象物からの振動応答信号が同じ圧電振動子cに入射しストライプ電極a, bを経て出力される。デコーダに信号を入力し、全て、又は一部の領域の圧電振動子を順次選択し、選択位置と選択した一对のストライプ電極間に出力される信号の相関をとることにより、対象物の機械特性の二次元分布像が得られることになる。

【0075】本実施例の構成は図11に示してあるが、必ずしもこの構成だけにとどまることはなく、実施例3の変形例のように圧電振動子上面に受圧部兼音響整合層を付設することもでき、同一の作用、効果が得られるることはいうまでもない。

【0076】(実施例6) 本発明による実施例6を図19に示す。なお、図18と同部材は同符号を付して説明を省略する。図中の191はシリコン基板であり、音響インピーダンスZ_p層191a、音響インピーダンスZ_m層191b、音響インピーダンスZ_i層(シリコン酸化膜層)191cからなる。前記基板191の片面にはPd/Ti二層膜からなる下部電極192が、他の面は表面酸化膜層となるべく深く形成し、この一部を化学エッチングによって凸状とする。更に、この凸状部材193の上に、該凸状部材193に接触する側は凸状部材の音響インピーダンスZ₁とほぼ等しい値を持ち、対象物194に接する側の音響インピーダンスZ_gは対象物194の音響インピーダンスZ_oの1.2倍~5にほぼ等しい音響インピーダンスを有する受圧部材195が配設されている。これが直接対象物に接触する受圧部196となる。

【0077】この受圧部196は以下の様な方法で得られる。単体で音響インピーダンスがZ₁(= $14\times10^6\text{k g/s}\cdot\text{m}$)にほぼ等しい低融点ガラス粉末例えればロシリケート鉛ガラス粉末をエポキシ、ウレタン、シリコーン等の樹脂溶液に重量比で $20\sim40\%$ 混合し、脱泡したスラリーを凸状部材193の上に塗布する。これを長時間自然放置すると、低融点ガラス粉末粒子は沈降し凸状部材193に接した部分はガラス粉末粒子がほぼ100%、また対象物194に接する側は上記樹脂が100%というようにガラス粉末粒子の密度が0~100%と変化する。この様な状態で硬化したものを 600°C 程度で1分以下の短時間熱処理し、樹脂成分を飛散除去する。この時低融点ガラスの一部が溶融し凸状部材193の表面との十分な濡れが実現される。

【0078】また、凸状部材193の表面から離れるに従ってガラス粉末粒子は溶融状態から粉末粒子間の焼結状態と変化し、粒子間空隙も増加するが粒子間結合力がなくなる訳ではない。この様な状態のガラス膜に対し、熱分解除去したのと同一の樹脂液を該ガラス膜の上面が完全に埋もれるまで塗布する。この様にして得られる受圧部材195は凸状部材193の表面と接している部分とその近傍はガラス溶融膜、そこから離れるに従ってガラス粉

末粒子は粒子間焼結状態で粒子の周囲に空孔を残し、この空孔領域に樹脂を充填した材質構造になる。更に離れるに従ってこのガラス粉末密度が低下していき、最後に、対象物194に接圧する表面近傍は樹脂のみとなる。

【0079】樹脂100の部材が表面に露出した構造になると、例えば対象物194が生体の時音響接合層との間に振幅インピーダンス整合が起こり、対象物194の表面からの振動応答（反作用力）が得られなく、対象物の表面の機械的特性を検出できなくなってしまう。そこで表面から研磨していくと、対象物194の音響インピーダンス Z_o の1.2倍～3倍になったところで研磨を停止する。従って、基板191は下部電極192を形成した側の Z_p 層191aと反対側の面で凸状部材193としている Z_i 層191c、及びその中間の Z_m 層191bの三層からなっている。

【0080】従って、音響インピーダンスも層毎に異なる値を示す。前記 Z_p 層191cはアモルファスであり、その音響インピーダンスは約 $1.5 \times 10^6 \text{ Kg/s} \cdot \text{m}$ である。一方、圧電体のそれは例えばPZTで $3.5 \times 10^6 \text{ Kg/s} \cdot \text{m}$ である。シリコンは圧電体の音響インピーダンスに近いので、圧電厚膜素子186から受圧部196までほぼ連続的に音響インピーダンスが変化する。また、シリコンもシリコン酸化膜とともに振動効率 Q_m は非常に大きく、圧電厚膜素子186によって励起された振動は殆どロスなく受圧部端面まで到達する。下部電極192側にはジェットプリンティング法による圧電厚膜成膜、熱処理、犠牲層形成、絶縁層188の形成、研磨による表面平坦化、上部電極189の形成、分極、上部電極189のパターン化、犠牲層除去による空隙部187の形成というこれまでの実施例と同様の工程を経ることによって圧電厚膜素子186、空隙部187、絶縁層188が共に形成される。次に、本実施例6の作用、効果について記述する。

【0081】（作用）圧電厚膜素子に励起された超音波振動は、圧電厚膜素子186と音響インピーダンスが等しい Z_p 層191aと、 Z_p から連続的に変化し平均で Z_m を有する Z_m 層191bと Z_m から連続的に変化する受圧部196と同じ音響インピーダンス Z_1 を有する Z_i 層191cが厚み方向に連続的に分布した基板を伝搬していく。これらの具体的な材質としては Z_p 層191aとしてシリコン単結晶部、音響インピーダンス Z_1 を有する Z_i 層191cとしてアモルファスシリコン酸化膜で、 Z_m を有する Z_m 層191bは酸化が不十分な小さいシリコン基板191内に殆どロスなく入射する。

【0082】この入射超音波は基板内を伝搬し、凸状部材193に到達する。この凸状部材193の表面に連続的に音響インピーダンスが変化し、対象物194との接圧面では対象物194の音響インピーダンスの1.2～3倍の値となっている。従って、対象物194が接圧していない状態では超音波は受圧部内面で100%近く反射するので、圧電厚膜素子186と基板の合計厚みと平均的な弾性

定数に対応した周波数で共振し、エコー信号に対応する応答信号はない。また対象物が接圧している時は対象物の音響インピーダンスを Z_o とすると、 $|Z_o - Z_c| / |Z_o + Z_c|$ の比率で対象物194と受圧部196の界面で反射する。今 $Z_c = 3Z_o$ とすると、反射率は50%となり、超音波エネルギーの1/2は対象物内に伝搬していく。そして、対象物194の断層に音響インピーダンスが異なる異物があるとその境界面で反射し、受圧部196にその1/2が入射する。従って、対象物194に音響ロスがなければ圧電厚膜素子186で発生させた超音波エネルギーの1/4の超音波エネルギーがエコー信号として圧電振動子に入射する。実際には超音波の対象物内での伝搬ロスが大きいのでエコー信号として圧電振動子に入射する超音波エネルギーは非常に小さくなる。一方、反射率を小さくしてエコー信号のエネルギーを増やそうとすると、受圧部196が受ける対象物からの反作用力が小さくなってしまい対象物の表面の機械的特性の検出感度が極めて小さくなってしまう。

【0083】また、 $Z_c = 1.2Z_o$ とすると、反射率は10%となり、超音波エネルギーの90%は対象物内に伝搬していく10%が定在波形成に寄与する。反射率は10%程度でも圧電厚膜素子189、 Z_p 層191a、 Z_m 層191b、凸状部材193とも超音波に対する伝搬ロスが小さいので、圧電厚膜素子186の機能を発揮できる。しかし、これより小さいと対象物の接圧による圧電厚膜素子186の共振周波数や共振抵抗の変化は殆ど検知されなくなる。そこで、受圧部196と対象物194の界面の超音波反射率が0.5～0.1の範囲になるような受圧部材質を選択し、且つ、中間層の音響インピーダンスがシリコン単結晶の音響インピーダンス Z_p から受圧部材質の音響インピーダンス Z_1 まで連続的に変化する材質を用いるようにする。

【0084】（効果）以上記載した構成、作用により、同一の圧電厚膜素子を用いて圧電厚膜素子の対象物表面による振動応答と、対象物内部の音響的インピーダンスの不連続境界面からのエコー信号を時系列的に検出、解析し、対象物の表面と内部の機械特性を検出するという目的を達成できる様になる。

【0085】以上説明した各実施例には、以下の発明が含まれている。

【構成】厚み縦振動の共振特性を用いたマイクロ圧電振動子において、表面に下部電極を施した基板と、前記下部電極上に形成され、その断面形状が台形状で厚み方向に分極状態にある圧電厚膜素子と、この圧電厚膜素子の側壁に対し空隙部を隔てて包囲するように形成するとともに前記基板に対し略平行な面を有して形成された絶縁層と、前記圧電厚膜素子の上面と前記絶縁層の表面に一括りに配設された上部電極を具備したことを特徴とするマイクロ圧電振動子。

【0086】実施例1が対応する。尚、本発明で用いている台形とは、円錐、楕円錐、四角錐、三角錐の様な立体構造をそれらの底面に平行にスライスした面を上面にした台錐形を簡略化して表現している。

【0087】〔作用〕圧電厚膜素子が台形状なので厚さ方向の共振振動は上面と下面の間の距離がその距離に対応した周波数で共振する。拡がり振動は圧電厚膜素子の厚み方向に垂直な断面寸法が全厚さに亘り一定ではないので共振周波数が広く分布し、また、共振の先鋒度(=機械的品質係数Qm)も小さくなるので、相対的に厚み縦振動のみが励起されるとみなせる様になり、安定した厚み縦振動がおこる。更に、圧電厚膜素子と絶縁層の間に圧電厚膜素子の側壁を包囲するように形成した空洞部が形成されているので、圧電厚膜素子の振動がダンピングされることがない。

【0088】〔効果〕以上の様に厚み振動のみが効率良く励起され共振先鋒度が高くなっているのでセンサとしての感度が良くなる。また、電極は全面に形成されているので無駄な領域がなく、エネルギー閉じ込め電極に比べ比較的電極面積を大きくできるので、静電容量を大きくとれセンサのS/Nが良くなる。更に、空隙部があるため圧電振動子の振動がダンピングされないので大きなQmが得られ、センサとしての感度が良くなる。

【0089】2.

〔構成〕前記第1項に記載したマイクロ圧電振動子において、前記上部電極が前記圧電厚膜素子の上面全面に形成された全面電極部と該全面電極と一体的に形成され、該全面電極の少なくとも一方所から引き出されたパターン状配線とからなることを特徴とするマイクロ圧電振動子。実施例1が該当する。

【0090】〔作用〕圧電厚膜素子の上面に電極が全面に形成されているので、エネルギー閉じ込め振動子の様に電極を形成しない領域を必要としない。また配線はパターン化されているので配置、形状の自由度が大きくなる。

【0091】〔効果〕配線を含めた圧電振動子の寸法を小さくすることができる。また、配線の配置、形状の自由度が大きいので種々の圧電センサへの応用が可能になる。

【0092】3.

〔構成〕前記第2項に記載したマイクロ圧電振動子において、前記全面電極と前記パターン状配線の前記基板表面からのそれぞれの高さが等しいことを特徴としたマイクロ圧電振動子。実施例1が該当する。

【0093】〔作用〕圧電厚膜素子の上面と絶縁層の上面の高さが等しくなるように加工し、上部電極は一体的に配設されているので電極の段差がない。

【0094】〔効果〕段差がないので下部電極と上部電極段差部との間で電界集中が起こる事が防げるので、圧電振動子としての機械的品質係数Qmが大きく信頼性の

高い圧電振動子が得られる。

【0095】4.

〔構成〕前記第1項に記載した台形状で厚み方向に分極処理された圧電厚膜素子が、該圧電厚膜素子の厚み方向に対し垂直な方向の断面が円形または楕円形をしていることを特徴としたマイクロ圧電振動子。実施例1が対応する。

【0096】〔作用〕上部全面電極の形状も円形または楕円形となる。また、台形の斜面に稜線がないので、圧電厚膜素子の方が側壁を包囲するように形成した空洞部の肉厚が一定になる。更に、円形より楕円形の方が半径が決まらないので、拡がり振動が一層抑圧される。

【0097】〔効果〕空隙部の構造や圧電厚膜素子そのものの構造が単純になり、圧電厚膜素子斜面と絶縁層斜面間のこすれが起こらないので信頼性が向上し、また製造が容易となり、製造コストも安くなる。また、拡がり振動が更に励起されにくい楕円形状にすることによって圧電振動子の厚み縦振動の振動効率(Qm)が更に向上升し、感度の向上や、センサとしての信頼性も向上する。

【0098】5.

〔構成〕前記第3項に記載したマイクロ圧電振動子を基本構造に有するマイクロ圧電センサにおいて、該マイクロ圧電センサの構造が、前記第1項に記載した前記圧電素子の上面の一部と前記絶縁層の上面の一部の両者に跨る様に配設した上部電極を有することを特徴としたマイクロ圧電センサ。実施例1が対応する。

【0099】〔作用〕圧電厚膜素子の上面と絶縁層の上面は平坦化処理によって基板に対して同じ高さになっているので形成した上部電極は段差を持たず、上下電極間距離が均一となり、電界集中が起こらないので分極状態が素子内で均一となるし、駆動電界による不均一な圧電動作や絶縁破壊が起こらなくなる。

【0100】〔効果〕圧電厚膜素子や分極時、駆動時いずれにおいても電界集中が起こらず、均一な圧電特性を得られ、安定で信頼性の高い圧電振動子動作が実現できる。

【0101】6.

〔構成〕前記第1項に記載した、マイクロ圧電振動子を複数アレイ状に配列し、各絶縁層、各基板及び各上部電極を互いに一体に形成し、且つ、各下部電極は互いに分離、絶縁されて配置してなることを特徴とするアレイ型マイクロ圧電振動子。

【0102】実施例2が対応する。アレイ状とは線状(実施例2)、面状(実施例3)、円筒状(実施例4)を提案しているが、アレイ形状はこれに限らず球面状、十字架状、櫛状でも空隙部を周囲に配した圧電厚膜素子が配列できる形状であれば上記アレイ形状に限定されるものではない。

【0103】〔作用〕アレイ状に配設した各位置の単位の圧電振動子が対象物に接した時の共振周波数変化や共

振抵抗変化を独立に検出できる。これらの信号と圧電振動子の位置との対応をつける。また、対象物に接触した時の振動応答の中からエコー信号を取り出し、解析することもできる。更に、各単位の振動子はそれぞれ周囲を包囲するように絶縁層が配置されているので、クロストークが防止されるとともに、対象物が振動子に接したときに過剰の力が振動子に加わることが防止される。

【0104】〔効果〕各位置の圧電振動子の共振周波数や共振抵抗の変化を検出し、これらの信号と圧電振動子の位置との相関をとることにより、アレイ形状に対応した対象物の特性分布がわかるようになる。また、各振動子間のクロストローク防止と外力による振動子の破壊が防止できる。

【0105】7.

〔構成〕前記第6項に記載したアレイ型マイクロ圧電振動子において、前記各マイクロ圧電振動子の下部電極ごとに前記絶縁層を貫通する下部電極突起を有することを特徴とするアレイ型マイクロ圧電振動子。

【0106】〔作用〕絶縁層を貫通して設けられた下部電極突起を介して下部電極が電気的に導通される。

【0107】〔効果〕下部電極に対して導通をとるための下部電極突起が、予め絶縁層の表面に露出するように設けられているので、配線作業が容易であり、下部電極に対する電圧の印加を確実に行うことができる。

【0108】8.

〔構成〕前記第6項に記載したアレイ型マイクロ圧電振動子において、前記アレイ状の複数配列が直線状であることを特徴とするアレイ型マイクロ圧電振動子。

【0109】実施例2が対応する。また、個々の圧電厚膜素子の形状は実施例2では縦横比の大きな方形をしているが、円錐台形、正方形台形でも構わない。

〔作用〕線状に並んだ圧電振動子の各々の共振周波数と共振抵抗の差は、対象物の弾性的特性の線方向分布に対応する。圧電振動子が台形だし、その周囲に空隙があり、圧電振動子間クロストールが小さい。

【0110】〔効果〕線状に並んだ圧電振動子の各々の振動周波数と共振抵抗と圧電振動子の位置との関係から対象物の弾性的特性の線方向分布がわかる。また、これを圧電振動子の配列方向に対し垂直方向に走査することによって面情報が得られる様になる。クロストークが小さいので横方向分解能に優れた対象物の弾性特性分布像が得られる。

【0111】9.

〔構成〕前記第6項に記載したアレイ型圧電トランスデューサにおいて、前記アレイ状の複数配列が円筒外周面に沿って配置した構造を有することを特徴としたアレイ型圧電トランスデューサ。実施例3が対応する。

【0112】〔作用〕圧電振動子の振動方向はラジアル方向であり、水等の超音波伝搬媒体を介在して円筒状に対象物に對面接触できる。複数の短冊状圧電振動子を順

次動作させ振動放射ビーム即ち超音波ビームをラジアルスキャンする。

【0113】〔効果〕体腔内の様な管状構造体内壁の超音波断層像が得られる。各振動子は断面形状が台形だし、その周囲に空隙があるので各振動子間クロストークが小さく高分解能の断層像が得られる。

【0114】10.

〔構成〕前記第6項に記載したアレイ型圧電トランスデューサにおいて、前記アレイ状の複数配列が2次元平面であることを特徴としたアレイ型圧電トランスデューサ。実施例4が対応する。

【0115】各々の圧電振動子の形状は、楕円、方形のいずれでも構わない。下部電極と上部電極はともにストライプ状で圧電厚膜を隔てて互いに直交して配設してある。また、下部電極、上部電極共に基板に一体的に形成されたデコーダに接続されている。

【0116】〔作用〕圧電トランスデューサが2次元平面状に複数配列されていて面内に配列された複数の圧電振動子の内の一つずつ順次にまたは複数同時に駆動できる。

【0117】〔効果〕2次元平面状に複数配列された圧電振動子の各々が断面構造が台形で、しかもその周囲に空隙が配設されているので、各圧電振動子間のクロストークが小さく面方向分解能に優れた対象物の弾性特性の面分布が測定できる。また、水等の超音波伝搬媒体を介して対象物に圧電振動子が放射する振動波（超音波）を入射させそのエコー信号を解析して対象物の面分布断層像を得ることが可能になる。

【0118】11.

〔構成〕前記第8項に記載したアレイ型圧電トランスデューサにおいて、円筒外周面が円筒軸に対して湾曲した構造になっていることを特徴としたアレイ型圧電トランスデューサ。実施例3の変形例が対応する。

【0119】〔作用〕圧電振動子から放射された振動波（超音波）は湾曲した曲率に応じて収束する。

【0120】〔効果〕したがって、円筒の軸方向の分解能が向上する。また、各圧電振動子はその段面形状台形なので前記第9項と同様な効果が得られる。

【0121】12.

〔構成〕前記第5項に記載したマイクロ圧電センサにおいて、圧電素子上面部に受圧部を配設した構造を有することを特徴としたマイクロ圧電センサ。実施例2が該当する。実施例1に記載したマイクロ圧電振動子の圧電素子上面部に受圧部を構成している。

【0122】〔作用〕受圧部が正確に対象物に接圧できる。

〔効果〕対象物の機械的特性を高精度に検出できる。

【0123】13.

〔構成〕前記第11項に記載したマイクロ圧電センサにおいて、前記受圧部がその面に厚さ方向に貫通した微細

孔と概微細孔を充填する充填部材を有することを特徴としたマイクロ圧電センサ。第2実施例が該当する。

【0124】【作用】受圧部を形成するにあたり、犠牲層材料の飛散する通路となり、また最後に飛散する犠牲層材料は概微細孔を通過しきれず充填部材として微細孔にとどまる。

【0125】【効果】微細孔は犠牲層が飛散する時の通路となる為に必要で、また微細孔が充填材によって閉じているので温氣等が空隙部に入り込む事がなく対環境性に優れたマイクロ圧電センサが実現できる様になる。

【0126】14.

【構成】前記第1項に記載したマイクロ圧電振動子の製造方法において、前記圧電厚膜素子の形成工程が、前記下部電極を表面に有する基板上にジェットプリンティングにより圧電厚膜パターンを形成する工程と、この圧電厚膜パターンを熱処理する工程と、熱処理した圧電厚膜パターンの上面を平坦化する上面平坦化工程と、前記圧電厚膜パターンの上面平坦化部に上部電極を形成する上部電極形成工程と、を有することを特徴とするマイクロ圧電振動子の製造方法。

【0127】全実施例が対応する。

【作用】ジェットプリンティングにより形成された圧電厚膜パターン、断面が図2のように下部が上部より広がった山形になり、これに上面平坦化工程によって上面平坦化部が形成されるので、圧電厚膜素子の断面形状は図6に示すように容易に台形に形成されることになる。

【0128】【効果】安定した厚み縦振動が得られる断面が台形形状をした圧電厚膜素子が容易に形成できる。

【0129】15.

【構成】前記第14項に記載したマイクロ圧電振動子の製造方法において、前記熱処理工程後の圧電厚膜パターンの全面を所定の厚みで溶融性樹脂で被覆する犠牲層形成工程と、前記犠牲層と前記基板を絶縁材料で被覆する絶縁層形成工程と、前記上面平坦化工程は、前記絶縁層、犠牲層及び圧電厚膜パターンの上部を基板にほぼ平行に研磨または研削して除去して平坦面を形成する工程であり、前記上部電極形成工程は、上記圧電厚膜パターン、犠牲層及び絶縁層の平坦面に跨がって電極膜を形成する工程であり、さらに、前記上部電極と下部電極との間に直流電圧を印加して電極間方向すなわち圧電厚膜素子の厚み方向の分極状態を形成する分極形成工程と、前記上部電極が形成された後に前記犠牲層を溶融除去して空隙部を形成する犠牲層除去工程と、を有することを特徴とするマイクロ圧電振動子の製造方法。

【0130】図2～6に該当し、全実施例に適用される。

【作用】前記絶縁層、犠牲層及び圧電厚膜パターンの上部が基板にほぼ平行に研磨または研削して除去することにより平坦面が形成され、前記上部電極と下部電極との間に直流電圧を印加することにより圧電厚膜素子の厚み

方向の分極状態が形成された後、溶融性樹脂からなる前記犠牲層を溶融除去して空隙部が形成されることになる。

【0131】【効果】安定した厚み縦振動が得られる断面が台形形状をした圧電厚膜素子が容易に形成できる。さらに圧電厚膜素子と絶縁層の平坦化した上面に空隙部を介して上部電極が跨がって形成されたマイクロ圧電振動子が容易に形成できる。

【0132】16.

【構成】前記第15項に記載したマイクロ圧電振動子の製造方法において、前記犠牲層を構成する溶融性樹脂の軟化温度が前記絶縁層形成工程における絶縁層形成温度より高いことを特徴とするマイクロ圧電振動子の製造方法。

【0133】全実施例が対応する。

【作用】絶縁層形成工程において、前記犠牲層が溶融することなく安定に保持される。

【0134】【効果】マイクロ圧電振動子の空隙の形成が安定して実現できる。

17.

【構成】前記第15項に記載したマイクロ圧電振動子の製造方法において、前記絶縁層形成工程における前記絶縁材料が光硬化性樹脂であり、この光硬化性樹脂に光像を照射して絶縁層を形成することを特徴とするマイクロ圧電振動子の製造方法。

【0135】実施例1が対応する。

【作用】絶縁層形成工程において、樹脂の硬化温度が室温等の比較的の低温で可能となる。

【0136】【効果】絶縁層が熱ではなく、光により硬化するので、犠牲層に熱の影響を与えずに絶縁層が形成できる。これによって、均一な幅を有する空隙層を形成でき、台形圧電振動子の斜面と絶縁層がかすり合わず安定な圧電振動を利用できる。

【0137】18.

【構成】前記第5項に記載したマイクロ圧電センサの受圧部の製造方法において、前記15項に記載した前記上部電極形成工程が上部電極を特定形状に形成する工程であり、前記上部電極の周辺部と空隙部に跨がって犠牲層を形成する第2の犠牲層形成工程と、前記犠牲層の全面と前記上部電極と前記絶縁層の一部に跨がって樹脂層を形成し受圧部を形成する樹脂性受圧部層形成工程と、前記第1犠牲層と第2犠牲層を一括して除去する両犠牲層除去工程とからなることを特徴とするマイクロ圧電センサの製造方法。

【0138】実施例2が該当する。上部電極形成工程により特定形状に形成した上部電極に対し、第2の犠牲層形成工程、樹脂性受圧部層形成工程、第1、第2犠牲層除去工程という工程を順に進める製造方法である。

【0139】【作用】第2の犠牲層形成工程で最終的に第2の空隙部になるスペースを確保する。樹脂性受圧部

層形成工程で受圧部になる部位が室温で半硬化状態となる。両犠牲層除去兼樹脂製受圧部硬化加熱工程で両犠牲層材料が除去されると共に前記半硬化状態の樹脂製受圧部が完全に硬化する。

【0140】[効果] 受圧部を備えた圧電振動子が得られる。

19.

【構成】前記第9項に記載したアレイ型圧電トランスデューサの製造方法が、基板上に下部電極をそれぞれ分離したパターン形状とする工程と、該パターン電極上の端部を除いた部分にジェットプリンティングシステムを用いてスポット状に圧電厚膜を形成する工程と、熱処理工程と、前記分離したパターン電極の端部に基板に垂直方向に導電性突起を形成する工程と、犠牲層形成工程と、絶縁層形成工程と、表面平坦化工程と、上部電極形成工程と、分極工程と、上部電極バターン化工程と、犠牲層除去工程と上部電極と前記導電性突起電極のひとつ一つに配線を接続する工程からなることを特徴としたアレイ型圧電トランスデューサの製造方法。

【0141】実施例2に対応する。先ず、基板上に下部電極をそれぞれ分離したパターン形状とし、次いで、該パターン電極上の端部を除いた部分にジェットプリンティングシステムを用いてスポット状に圧電厚膜を形成する工程、熱処理工程、前記分離したパターン電極の端部に基板に垂直方向に導電性突起を形成する工程、犠牲層形成工程、絶縁層形成工程、表面平坦化工程、上部電極形成工程、分極工程、上部電極バターン化工程、犠牲層除去工程、上部電極と前記導電性突起電極のひとつ一つに配線を接続する工程を経る。

【0142】[作用] 基板上に下部電極をそれぞれ分離したパターン形状とし、次いで、該パターン電極上の端部を除いた部分にジェットプリンティングシステムを用いてスポット状に圧電厚膜を形成し、熱処理工程でこの厚膜と基板との密着性、圧電厚膜を構成する粒子間結合力及び結晶性を向上させる。次に、前記分離したパターン電極の端部に基板に垂直方向に導電性突起を形成する工程で駆動電圧入力端子を確保する。突起状なのであの表面平坦化工程で絶縁層表面に露出部を表すことができる。更に、次の犠牲層形成工程により空洞部形成領域が確保される。絶縁層形成工程でそれまでの工程で形成された基板上の構造体が被覆される。表面平坦化工程で表面凹凸状態の圧電厚膜や突起状下部電極端子の余分な突起部が除去され表面が平坦化し同時に圧電厚膜や、突起状下部電極端子の切り出し面が露出し絶縁層、犠牲層形成用樹脂と面一となる。更に上部電極形成工程、分極工程で圧電厚膜は圧電活性となり圧電振動子の動作可能な状態となる。上部電極バターン化工程で圧電振動子の上面と犠牲層用材料と絶縁層の表面に一体的にまたがった上部パターン電極が形成される。更に犠牲層除去工程で両犠牲層が除去され、圧電振動子の斜面周囲の空隙部

30

と受圧部用空隙部が形成される。最後に上部電極と前記導電性突起電極のひとつひとつに配線を接続する工程でアレイ型圧電振動子トランスデューサが完成する。

【0143】[効果] 上記工程を経ることにより、周囲に空隙部を配し、かつ受圧部を備えた台形状圧電振動子アレイを精度良く製造できる。

【0144】20.

【構成】前記第8項に記載したアレイ型圧電トランスデューサにおいて、その構造が下部電極アレイを形成した絶縁性円筒基板と、前記各電極上に形成され分極された圧電厚膜振動子アレイと、前記圧電厚膜振動子アレイとその周囲に配設された空隙部と下部電極アレイに配線を付設する部位を除いた領域に形成された絶縁層領域と、圧電厚膜振動子の上面と該絶縁層の表面とに亘り一体的に形成された上部電極とからなることを特徴としたアレイ型圧電トランスデューサ。実施例3が該当する。

【0145】下部電極アレイを形成した絶縁性円筒基板と、前記各電極上に形成された分極された圧電厚膜振動子アレイと、前記圧電厚膜振動子アレイとその周囲に配設された空隙部と下部電極アレイに配線を付設する部位を除いた領域に形成された絶縁層領域と、圧電厚膜振動子の上面と該絶縁層の表面とに亘り一体的に形成された上部電極とからなる。

【0146】[作用] 上部電極を共通接地電極とするのに対し、下部電極がアレイ状になっているので個々の圧電振動子を異なるタイミングで駆動でき、圧電振動子を一つずつでも複数個まとめてでも、ラジアル走査ができる。各圧電振動子はその断面が台形をしている上に、その周囲に空隙を配しているので圧電振動子間のクロストークを小さくできる。

【0147】[効果] 良好的な走査方向の横分解能が得られる。

21.

【構成】圧電振動子と被測定対象物の間に音響的な結合層を有する圧電トランスデューサにおいて、前記音響的な結合層が被対象物に接触する側は被対象物の音響インピーダンスの1.2～3倍の音響インピーダンスを、圧電振動子側に接触する面は圧電振動子の音響インピーダンスとほぼ等しい音響インピーダンスを有することを特徴とした圧電トランスデューサ。実施例6に対応する。

【0148】音響的な結合層が被対象物に接触する側は被対象物の音響インピーダンスのほぼ3倍の音響インピーダンスを、圧電振動子側に接触する面は圧電振動子の音響インピーダンスとほぼ等しい音響インピーダンスを有することを有する構成である。

【0149】[作用] 圧電振動子の表面から放射された圧電振動（超音波）はこの音響的な結合層に損失なく入射し、結合層の中を圧電振動子の中と同程度の小さな減衰で結合層の被対象物に到達し、その界面で音響インピーダンスに1.2～3倍の差があるので、約1/10～

50

1/2の振動エネルギーが界面で反射し圧電振動子に戻って行く。この反射は、対象物の音響インピーダンス、即ち複素弹性定数の実数部、虚数部の値に対応し、共振周波数と共振抵抗が変化する。また、振動エネルギーの1/2は被対象物に入射し、被対象物内の音響インピーダンスの不連続面で反射し、反射超音波は音響的結合層との境界でその1/2が音響的結合層側へ入射し、圧電振動子と音響的結合層との界面では損失なく圧電振動子に入射する。従って、圧電振動子の圧電効果でこのエコー信号が電気信号に変換される。

【0150】[効果] 圧電振動子の共振周波数と共振抵抗から音響的結合層が接している被対象物の表面近傍の複素弹性率の実数部、虚数部、即ち、弹性係数(ヤング率)と粘性係数がわかり、またエコー信号から深さ方向の弹性定数の不連続状態が検出できる。

【0151】22.

[構成] 前記第21項に記載した圧電トランスデューサにおいて、被対象物が生体であり、前記音響的な結合層の前記生体に接触する側の音響インピーダンスが $1.8 \times 10^6 \text{ Kg/sec} \cdot \text{m}^2$ から $4.5 \times 10^6 \text{ Kg/sec} \cdot \text{m}^2$ の範囲にあることを特徴とする生体用圧電トランスデューサ。

【0152】実施例6に対応する。なお、ここで言う生体とは主に人体をさすが、他の動物、組織でも、その音響インピーダンスが $1.5 \times 10^6 \text{ Kg/sec} \cdot \text{m}^2$ 近傍の値をもつものであれば何でもよい。

【0153】[作用] 生体の音響インピーダンスはほぼ $1.5 \times 10^6 \text{ Kg/sec} \cdot \text{m}^2$ であり、 $1.8 \times 10^6 \text{ Kg/sec} \cdot \text{m}^2$ から $4.5 \times 10^6 \text{ Kg/sec} \cdot \text{m}^2$ の範囲はこの生体の音響インピーダンスの1.2~3倍の値に相当するので、前記音響的結合層に圧電振動(超音波)が反射無しに入射し、生体と音響的結合層の界面で、約1/10~1/2の超音波エネルギーが反射し、圧電振動子に戻っていく。この戻ってきた超音波は前記界面、すなわち、生体の表層の機械的特性すなわち弹性係数や粘性係数に関する情報を含んでいる。一方、生体に進入する9/10~1/2の超音波エネルギーは深さ方向に存在する正常組織とは異なる音響インピーダンスを持つ腫瘍等異常組織との界面で反射しエコー信号となって圧電トランスデューサに戻る。

【0154】[効果] このような結合層を有することによって、生体表面の機械特性を検出できるだけでなく、深さ方向に存在する腫瘍等の異物の存在と、その存在位置とを検出することができる。

【0155】23.

[構成] 前記第21項に記載した圧電トランスデューサにおいて、前記音響的な結合層の機械的品質係数が圧電振動子の機械的品質係数と同じかそれ以上の値を有することを特徴とした圧電トランスデューサ。実施例6に対応する。前記音響的な結合層の機械的品質係数が圧電振

10

動子の機械的品質係数と同じかそれ以上の値を有する。

【0156】[作用] 機械的品質係数は超音波の伝搬損失に対応し、この値が大きいほど超音波の伝搬損失が小さい。従って、この様に機械的品質係数が圧電振動子の機械的品質係数と同じかそれ以上の値を有する材質を使えば、そこで超音波の損失がないので圧電振動子の共振抵抗が増大することは殆どない。

【0157】[効果] 共振抵抗が低いほど、対象物を接触した時の共振抵抗の変化が大きくとれるのでセンサとしての感度、ダイナミックレンジが大きくとれる。

【0158】24.

[構成] 前記第21項に記載した圧電トランスデューサにおいて、前記圧電素子が周囲に空隙部を配した断面が台形をした圧電振動子であることを特徴とした圧電トランスデューサ。実施例16に対応する。前記圧電素子が周囲に空隙部を配し、その断面が台形をしている。

【0159】[作用] 台形をしているのでポアソン比を介して発生し易い拡がり振動は殆ど励起されず、なおかつ、絶縁層とも接触していないので、機械的品質係数が低下することはない。また、拡がり振動が発生しない為、基板との接合状態で発生し易い屈曲振動も起こらない。

【0160】[効果] 高い機械的品質係数を実現でき、また目的とした厚み縦振動のみを効率良く励振できるので高感度で対象物の弹性特性の検出が可能となる。

【0161】

[発明の効果] 以上詳述した如く本発明によれば、厚み縦振動を用いた圧電振動子で電極が段差構造を持たず、不要振動がない機械的品質係数Qmの大きなマイクロ圧電振動子、その製造方法、及び前記マイクロ圧電振動子を利用した圧電トランスデューサを提供できる。

[図面の簡単な説明]

【図1】本発明の実施例1に係るマイクロ圧電振動子の断面図。

【図2】本発明の実施例1に係るマイクロ圧電振動子の製造方法の一工程図であり、圧電スポット膜を形成した状態の断面図。

【図3】本発明の実施例1に係るマイクロ圧電振動子の製造方法の一工程図であり、全面に絶縁層を形成した状態の断面図。

【図4】本発明の実施例1に係るマイクロ圧電振動子の製造方法の一工程図であり、全面を平坦化した状態の断面図。

【図5】本発明の実施例1に係るマイクロ圧電振動子の製造方法の一工程図であり、上部電極兼分極電極を形成した状態の断面図。

【図6】本発明の実施例1に係るマイクロ圧電振動子の製造方法の一工程図であり、パターン化した上部電極を形成した状態の最終工程を示す断面図。

【図7】本発明の実施例1で用いたジェットプリンティ

20

40

50

ングシステム装置の説明図。

【図8】本発明の実施例1の変型例の説明図で、図8(A)は断面図、図8(B)は錐台形構造の圧電厚膜の上面からみた構造が梢円形の場合、図8(C)は角形の場合。

【図9】本発明の実施例2に係るマイクロ圧電振動子の断面図。

【図10】本発明の実施例2に係るマイクロ圧電振動子の製造方法を工程順に示す断面図で、図10(A)は第2犠牲層を形成した状態、図10(B)は微細孔を形成した状態、図10(C)は第2空隙部を形成した状態を示す断面図。

【図11】本発明の実施例2の変型例に係るマイクロ圧電振動子の断面図。

【図12】図11のマイクロ圧電振動子の製造方法を工程順に示す断面図で、図12(A)は弾性部材を形成した状態、図12(B)は微細孔を形成した状態、図12(C)は第2空隙部を形成した状態を示す断面図。

【図13】本発明の実施例3に係る直線状アレイ型マイクロ圧電トランスデューサの説明図であり、図13(A)は上面図、図13(B)は図13(A)の単独の圧電振動子の拡大上面図、図13(C)は図13(B)のX-X線に沿う断面図、図13(D)は図13(B)のY-Y線に沿う断面図。

【図14】本発明の実施例3の変型例に係るアレイ型マイクロ圧電トランスデューサの断面図。

【図15】本発明の実施例4に係るアレイ型マイクロ圧電トランスデューサの説明図であり、図15(A)は側面図、図15(B)は図15(A)の単独の圧電振動子の拡大上面図、図15(C)は図15(B)のX-X線に沿う断面

図、図15(D)は図15(B)のY-Y線に沿う断面図

【図16】本発明の実施例4の変型例に係るアレイ型マイクロ圧電トランスデューサの動作説明図。

【図17】本発明の実施例4の変型例のアレイ型マイクロ圧電トランスデューサの説明図。

【図18】本発明の実施例5に係る圧電振動子二次元アレイの説明図であり、図18(A)は平面図、図18(B)は図18(A)のX-X線に沿う断面図。

【図19】本発明の実施例6に係る圧電振動子の断面図。

【図20】従来のマイクロ触覚センサの説明図であり、図20(A)は平面図、図20(B)は図20(A)のX-X線に沿う断面図。

【図21】従来の圧電振動子の断面図。

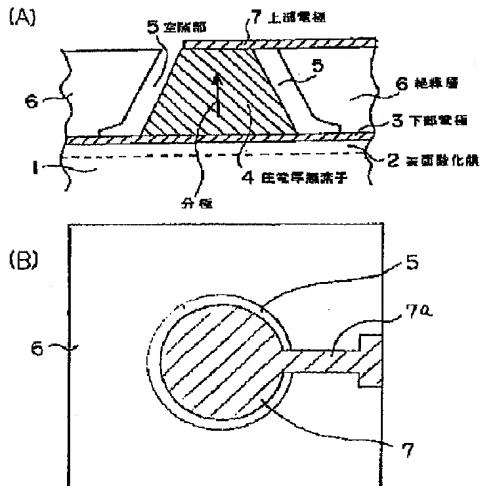
【図22】従来の平行電界励振圧電振動子の説明図。

【図23】各種振動子の断面図。

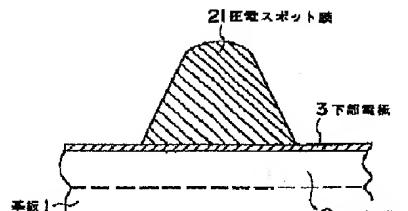
【符号の説明】

- | | |
|---|------------------|
| 1, 131, 181 …基板、 | 2, 132, 182 … |
| 表面酸化膜、3, 133, 152, 185 …下部電極、4, 13 | |
| 4, 138, 153, 186 …圧電厚膜素子、5, 92, 146, | |
| 147, 154, 187 …空隙部、6, 23, 136, 155, 188 | |
| …絶縁層、7, 137, 156, 189 …上部電極、21…圧 | |
| 電スポット膜、22, 94…犠牲層、24…上部電極兼分極電極、 | 26, 114, 135 …空隙 |
| 部、91, 111 …受圧部、93, 113 …微細孔、 | |
| 112 …弾性部材、139, 159 …下部電極突起、 | |
| 140, 160 …下部電極突起被膜電極、141 …直線状 | |
| 圧電振動子アレイ、145 …受圧部兼音響整合層、15 | |
| 1 …円筒基板、157 …共通接地電 | |
| 30 極、158 …単体圧電振動子、183, 184 …デコーダ。 | |

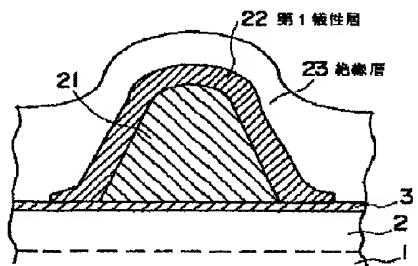
【図1】



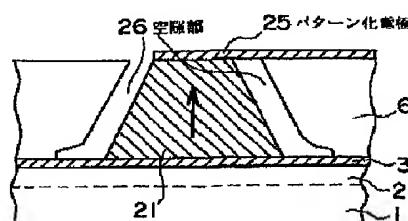
【図2】



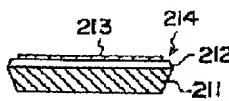
【図3】



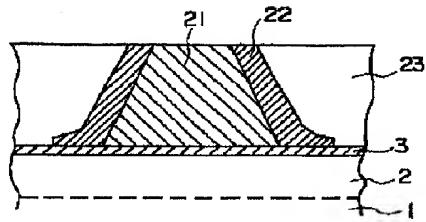
【図6】



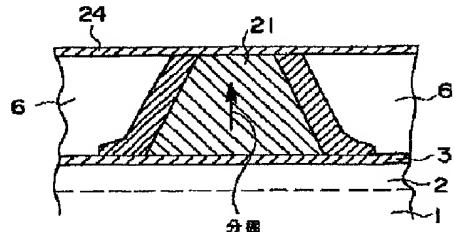
【図21】



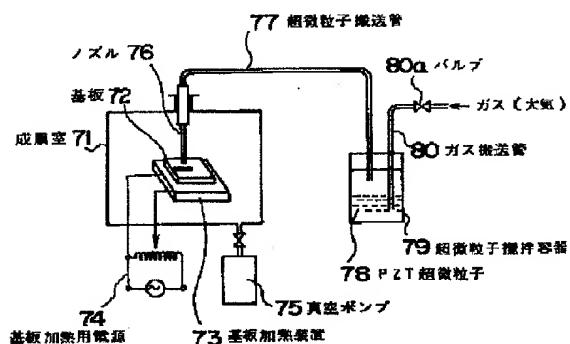
【図4】



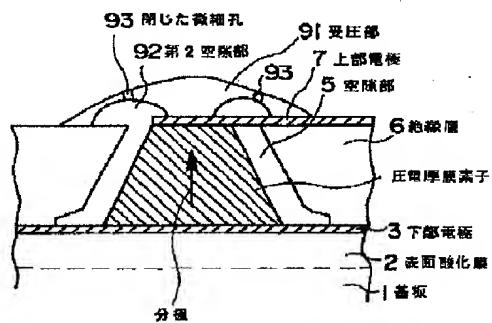
【図5】



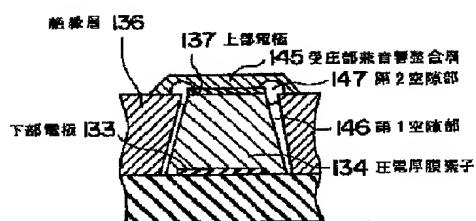
【図7】



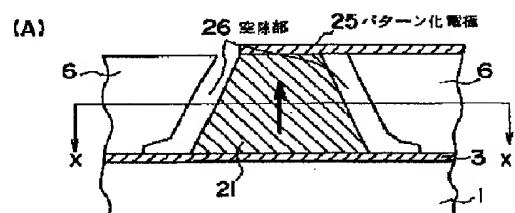
【図9】



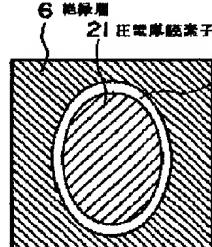
【図14】



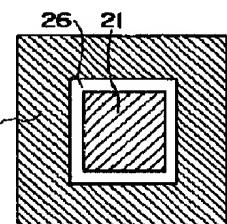
【図8】



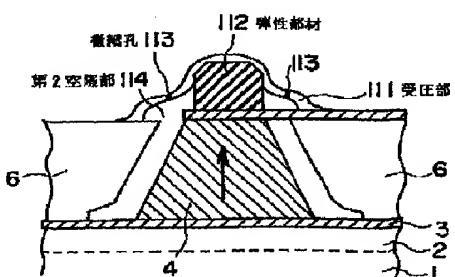
(B)



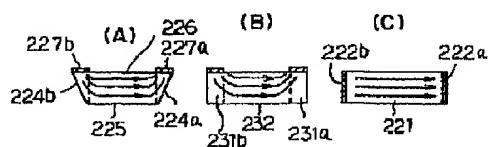
(C)



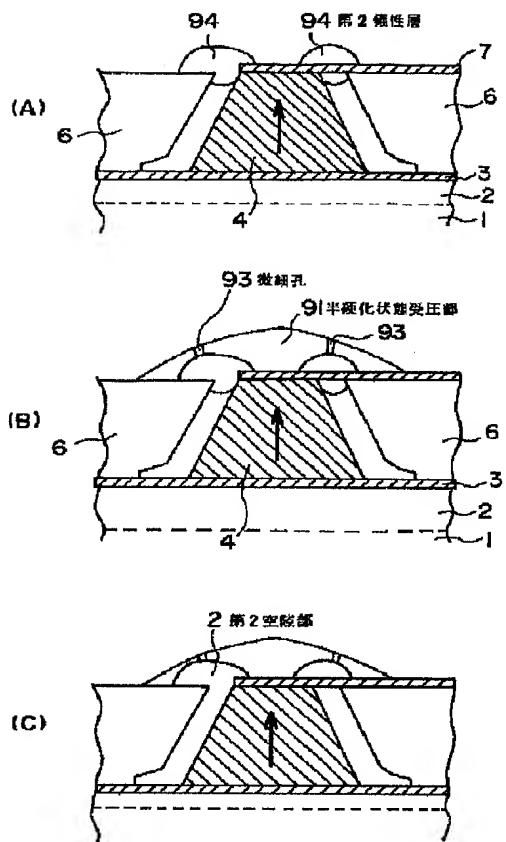
【図11】



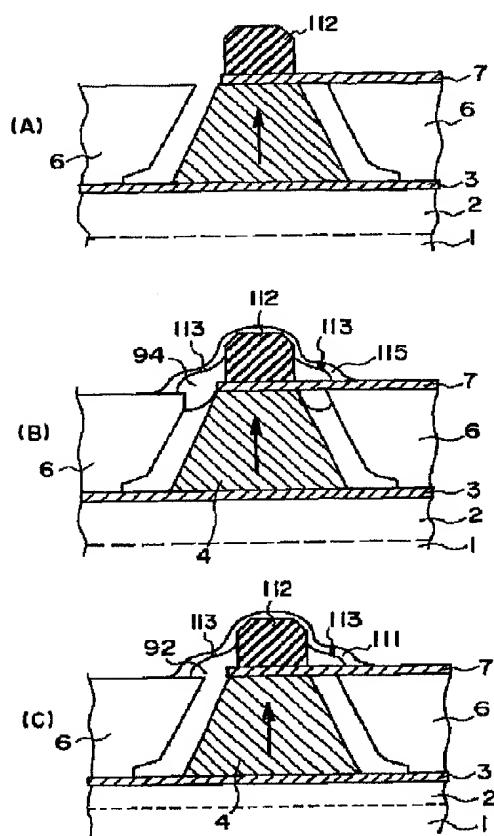
【図23】



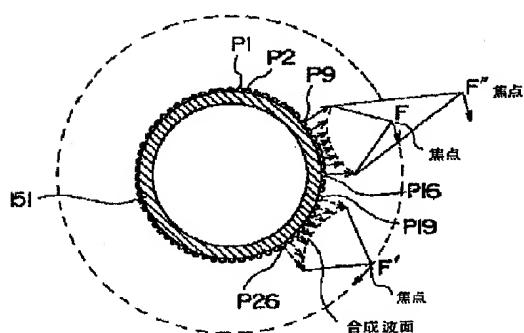
【図10】



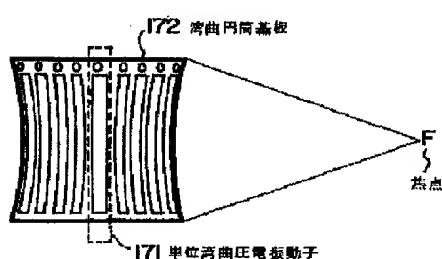
【図12】



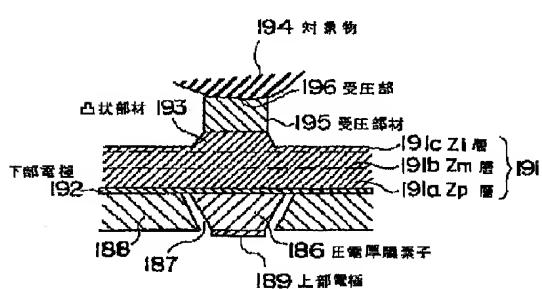
【図16】



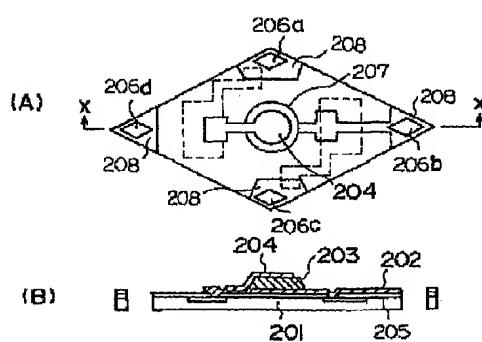
【図17】



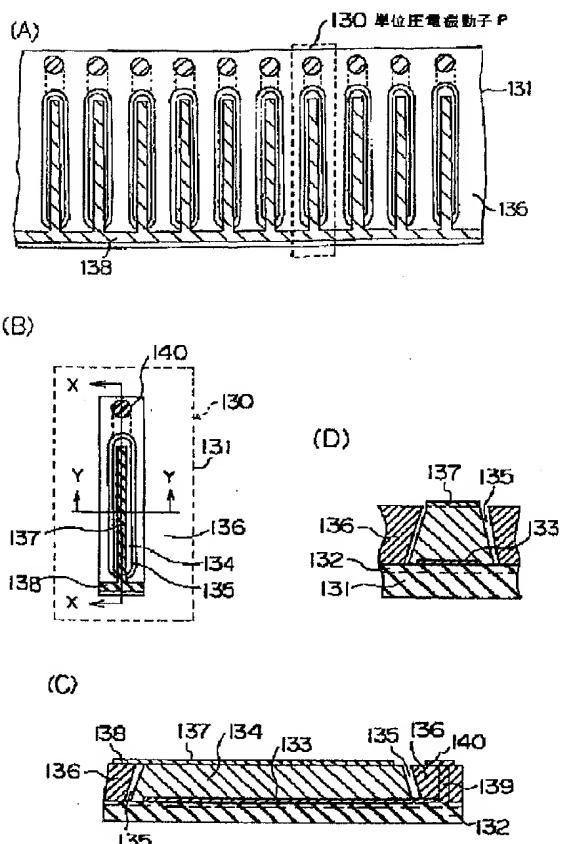
【図19】



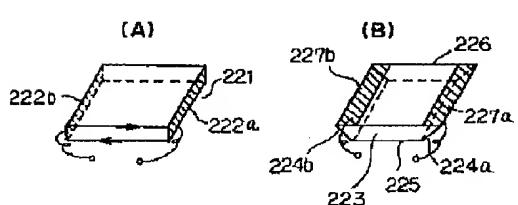
【図20】



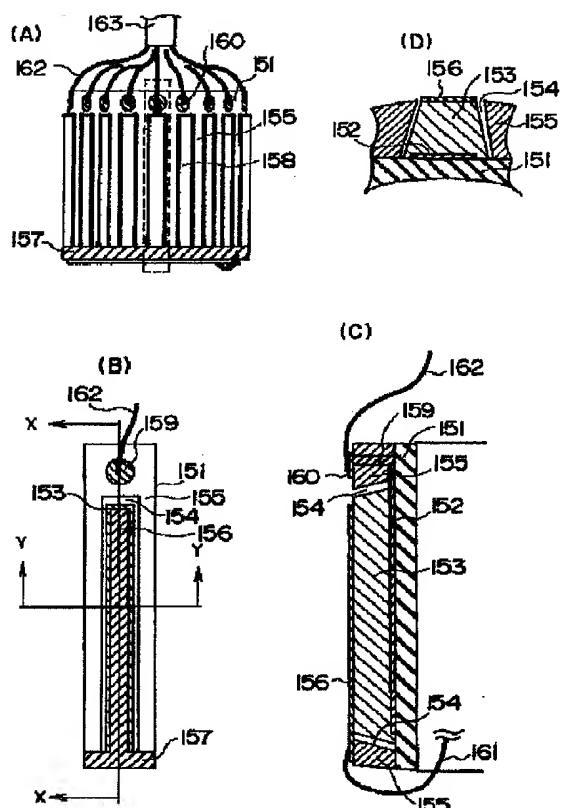
【図13】



【図22】



【図15】



【図18】

